



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ไมโครเอนแคปซูลชันของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย:

ลักษณะและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

Microencapsulation of Gac Aril by Spray Drying : Characterization
and Storage Stability

ผศ.ดร. วรวิทย์ อารีกุล

นางสาวปิยวรรณ อยู่ดี

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

ไมโครเอนแคปซูลезชันของเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย:
ลักษณะและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

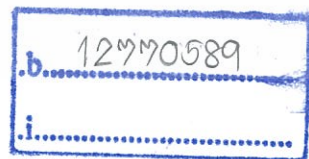
Microencapsulation of Gac Aril by Spray Drying : Characterization
and Storage Stability

ผศ.ดร. วรวิทย์ อารีกุล

นางสาวปิยวรรณ อยู่ดี

RCH
ว329ม
2554

สาขา.....
เลขทะเบียน 142225
รับ.เดือน.ปี. 27 เม.ย. 2559



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2556

คณะอุตสาหกรรมเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) ไมโครเอนแคปซูลชั้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย: ลักษณะและความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2556 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 480,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่ ตุลาคม 2555 ถึง 31 มีนาคม 2557

หัวหน้าโครงการ ผศ. ดร. วรวิทย์ อารีกุล และผู้ร่วมโครงการวิจัย นางสาวปิยวรรณ อยู่ดี

คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูลชั้นด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยศึกษาเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ใช้ ซึ่งประกอบด้วยมอลโตเดกทรีน 10 - 30 เปอร์เซ็นต์ เจลาติน 3 - 6 เปอร์เซ็นต์ และเบต้า-ไซโคลเดกทรีน 3-เปอร์เซ็นต์ และใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า ที่อุณหภูมิ 125- 145 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผงเยื่อหุ้มพืชข้าวผ่านการเอนแคปซูลชั้นในสภาวะต่างๆ ไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ค่าวอเตอร์แอกติวิตี ผลผลิตเอนแคปซูลชั้น ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ประสิทธิภาพเอนแคปซูลชั้นและปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนด้วยเทคนิค HPLC พบว่า ความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อพารามิเตอร์ที่ศึกษานอกจากนี้ยังพบว่า อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวต่อสารห่อหุ้มมีอิทธิพลเช่นกัน จากผลการทดลองบ่งชี้ว่า สภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ได้แก่ 1) มอลโตเดกทรีน 20 เปอร์เซ็นต์ เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 16.7 เปอร์เซ็นต์ ที่ 125 องศาเซลเซียส 2) เจลาติน 3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ 125 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของ และ 3) เบต้าไซโคลเดกทรีน 3 เปอร์เซ็นต์ เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 20 เปอร์เซ็นต์ ที่ 135 องศาเซลเซียส

การประเมินความคงตัวของผงเยื่อหุ้มพืชข้าวในสภาวะการบรรจุ 2 แบบ ได้แก่ แบบสุญญากาศและแบบพ่นก๊าซไนโตรเจน ภายใต้การเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าความแตกต่างโดยรวมของสีมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนมีค่าลดลงตามระยะเวลาและอุณหภูมิในการเก็บรักษา อัตราการสลายตัวของแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชันเป็นไปตามสมการปฏิกิริยาอันดับ 1 นอกจากนี้ยังพบว่าผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการบรรจุแบบพ่นก๊าซไนโตรเจน มีอัตราการสลายตัวของแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผงเยื่อหุ้มพืชข้าวที่อุณหภูมิต่ำและมีการบรรจุในสภาวะแบบสุญญากาศ เพื่อช่วยลดการสูญเสียแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

คำสำคัญ เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว, ไมโครเอนแคปซูลชั้น, ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา, เบต้า-แคโรทีน, ไลโคพิน

Research title: Microencapsulation of Gac Aril by Spray Drying: Characterization and Storage Stability

Researchers: Assist. Prof. Dr. Varipat Areekul and Miss Piyawan Youdee

Faculty: Agro-industry **Department:** Food Science and Technology

Abstract

This research aimed to study the optimum conditions for the production of gac aril powder using spray drying technique. The combination of wall material concentration and inlet drying air temperatures were varied; 10 to 30% maltodextrin concentration, 3 to 6% gelatin concentration, 3 to 7% β -cyclodextrins concentration and the inlet drying air temperature from 125 to 145°C. After that, the gac aril powders were analyzed for moisture content, water activity (A_w), encapsulation yield (EY), total carotenoid content (TCC), encapsulation efficiency (EE) and lycopene and β -carotene by HPLC. The effect of the wall material concentration and inlet drying air temperature were pronounced on those studied parameters. In addition, the ratio of gac aril concentration and wall material also affected as well. The result indicated the optimum conditions for each encapsulated gac aril powder; 1) 20% maltodextrin and 16.7 % gac aril at 125 °C, 2) 3% gelatin and 20% gac aril at 125 °C and 3) 3% β -cyclodextrins and 20% gac aril at 135 °C. These appropriate conditions were chosen for further study.

The storage stability of encapsulated gac aril powder was evaluated under 2 packing conditions; nitrogen-flushing and vacuum packed and stored at 3 different storage temperatures (25, 35 and 45°C). Total color difference of the powder was significant increased, while TCC, all antioxidant activities, lycopene and β -carotene contents tended to decline according to storage time and temperature. Degradation rate of TCC and antioxidant activities were followed first-order kinetics. Furthermore, the degradation rates of TCC and antioxidant activities in nitrogen-flushing treatments were slightly greater than those in vacuum-packed. Thus, the gac aril powder should be packed in vacuum condition and kept at low temperature to avoid losses of TCC and antioxidant activities.

Keywords Gac aril, microencapsulation, storage stability, β -carotene, lycopene

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำการวิจัยใคร่ขอขอบคุณ คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยตลอดจนให้ใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำวิจัยในครั้งนี้ จนทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์และสำเร็จลงด้วยดี โดยการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556



ผศ.ดร. วรพีศย์ อารีกุล

นางสาวปิยวรรณ อยู่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	จ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 คำสำคัญของโครงการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สารต้านอนุมูลอิสระ.....	3
2.2 แคลโรทีนอยด์.....	6
2.3 ฟักข้าว.....	12
2.4 เอนแคปซูเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	16
2.5 ความคงตัวของอาหารระหว่างการเก็บรักษา.....	23
บทที่ 3 วัตถุประสงค์ อุปกรณ์และวิธีการทดลอง.....	27
3.1 วัตถุประสงค์.....	27
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	27
3.3 สารเคมี.....	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	28
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	36
4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารที่ใช้ห่อหุ้มในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธี เอนแคปซูเลชัน.....	36
4.2 ผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคป ซูเลชัน.....	47
4.3 ผลการศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันใน ระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ.....	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	66
บทที่ 6 สรุปผลผลิตงานวิจัย.....	67
6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	78
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	101
ประวัตินักวิจัย.....	102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคปีนในเนื้อและเยื่อเมล็ดฟักข้าว.....	14
ตารางที่ 2.2 สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูลสารสำคัญ.....	17
ตารางที่ 2.3 เทคนิคที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูล.....	20
ตารางที่ 3.1 สภาวะในการเอนแคปซูลเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	30
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้แต่ละช่วงเวลา.....	32
ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มฟักข้าวในการทำแห้งแบบพ่นฝอย.....	33
ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลต่างๆ.....	36
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการแอคติวิตีของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลต่างๆ.....	38
ตารางที่ 4.3 ผลผลิตเอนแคปซูลของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลต่างๆ.....	40
ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว.....	47
ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด.....	61
ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ตามปฏิริยาอันดับที่ 1.....	62
ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ตามปฏิริยาอันดับที่ 1.....	63
ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARs ตามปฏิริยาอันดับที่ 1.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง DPPH-H กับสารต้านอนุมูลอิสระ.....	5
ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์กับ TBA.....	6
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ.....	7
ภาพที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของแคโรทีนอยด์.....	8
ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์จากปัจจัยต่างๆ.....	11
ภาพที่ 2.6 ผลฟักข้าวสุก.....	13
ภาพที่ 2.7 ปริมาณไลโคพีนในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ.....	13
ภาพที่ 2.8 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ.....	14
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	17
ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของแอลฟา เบตา และแกมมา-ไซโคลเดกทรีน.....	19
ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารต่อเวลาตามปฏิกิริยาอันดับ 0 และอันดับ 1.....	25
ภาพที่ 3.1 การแยกเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว.....	28
ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเยื่อหุ้มฟักข้าวเพื่อนำไปเอนแคปซูลด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย	29
ภาพที่ 4.1 พื้นผิวตอบสนองของปริมาณความชื้นของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูล ต่างๆ.....	37
ภาพที่ 4.2 พื้นผิวตอบสนองของค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูล ต่างๆ	39
ภาพที่ 4.3 พื้นผิวตอบสนองของผลผลิตเอนแคปซูลชั้นของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคป ซูลแตกต่างกัน.....	41
ภาพที่ 4.4 พื้นผิวตอบสนองของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Total Carotenoid content, TCC) ของผง เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลแตกต่างกัน.....	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.5 พื้นที่ตอบสนองของประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน (Encapsulation Efficiency, EE) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลทต่างๆ	43
ภาพที่ 4.6 ปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลทต่างๆ.....	45
ภาพที่ 4.7 พื้นที่ตอบสนองของสภาวะในการเอนแคปซูเลทเยื่อหุ้มฟักข้าว.....	46
ภาพที่ 4.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน	48
ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน.....	49
ภาพที่ 4.10 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน.....	50
ภาพที่ 4.11 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน.....	50
ภาพที่ 4.12 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARs ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน.....	51
ภาพที่ 4.13 ปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน.....	52
ภาพที่ 4.14 ไมโครกราฟจากการส่องกล้อง SEM ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน	53
ภาพที่ 4.15 ค่าความแตกต่างโดยรวมของสี (Total color different) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	54
ภาพที่ 4.16 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	55
ภาพที่ 4.17 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	57
ภาพที่ 4.19 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARs ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา.....	58
ภาพที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวก่อนและหลังการเก็บรักษา.....	60
ภาพผนวกที่ 1 เครื่องสเปรย์ดรายรุ่น EYELA-SD 1000 ที่ใช้ในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว.....	77
ภาพผนวกที่ 2 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคพินที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	78
ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	78
ภาพผนวกที่ 4 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของสารมาตรฐานไลโคพินและเบต้าแคโรทีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ.....	79
ภาพผนวกที่ 5 ตัวอย่างโครมาโตแกรมของตัวอย่างผงเยื่อหุ้มฟักข้าวในสารห่อหุ้มต่างๆ.....	80

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ฟักข้าว (*Momordica cochinchinensis* Spreng.) เป็นผลไม้ที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์สูง ได้แก่ เบต้า-แคโรทีนและไลโคพีน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนเยื่อหุ้มเมล็ด (Bauernfeld, 1971; Vuong, 2002; Aoki *et al.*, 2002) นอกจากนี้ยังประกอบด้วยแอลฟาโทโคฟีรอล (Vuong *et al.*, 2006) ซึ่งสารเหล่านี้ล้วนเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่สำคัญ และมีความสัมพันธ์กับการลดอัตราการเสี่ยงต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่น โรคหัวใจ โรคกระเพาะ ฯลฯ ดังนั้น ผลฟักข้าวจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี และสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเชิงสุขภาพได้ อย่างไรก็ตามแคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่ไวต่อสภาพแวดล้อม เช่น แสง ออกซิเจน และอุณหภูมิ จึงง่ายต่อการเกิดออกซิเดชัน และเป็นข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอาหาร อาหารเสริมสุขภาพและยา ซึ่งการประยุกต์ใช้เทคนิคเอนแคปซูลชัน จะช่วยในการยืดอายุการเก็บรักษาสารสำคัญที่มีอยู่ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ทำให้สามารถเพิ่มขอบเขตในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เพื่อทดแทนการใช้สีสังเคราะห์ในอาหาร รวมถึงคงไว้ซึ่งคุณประโยชน์ต่อสุขภาพมากขึ้น อันเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในปัจจุบัน

เอนแคปซูลชัน (encapsulation) เป็นกระบวนการที่นำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปกป้องส่วนประกอบของอาหารจากการสูญเสีย หรือเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่สำคัญ โดยการห่อหุ้มสารสำคัญหรือสารแกนกลาง (core material) ด้วยสารห่อหุ้ม (wall material) ซึ่งมักเป็นสารในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ (กัมอารบิกไซเตียมอัลจิเนต และเจลาติน เป็นต้น) คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ไฮโคลเดกทรินหรือ มอลโตเดกทริน เป็นต้น โดยคุณสมบัติของสารห่อหุ้มนั้น ควรมีคุณสมบัติหลากหลาย ได้แก่ มีความสามารถในการสร้างชั้นฟิล์มที่ดี สามารถทำให้เกิดการลื่นไหล (plasticizer) ช่วยให้เกิดการพอร์มรูปร่าง และผิวเรียบของแคปซูล รวมถึงต้องเพิ่มความสามารถในการยึดเกาะระหว่างสารที่ใช้ห่อหุ้มและสารสำคัญที่ต้องการห่อหุ้มด้วย (Bruschi *et al.*, 2003) สำหรับวิธีการเอนแคปซูลชันนั้นมีหลายวิธี และวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจใช้ทั่วไป เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ต่อเนื่อง ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะแห้งเป็นผง มีการคั่นตัวที่ดี สามารถเก็บรักษาได้นานและง่ายต่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย

งานวิจัยในโครงการนี้จึงมีความสำคัญในการนำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวซึ่งเป็นของเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเพิ่มมูลค่า ด้วยการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูลชันทำให้สามารถยืดอายุการเก็บรักษาสารสำคัญที่มีในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว สำหรับใช้เป็นสีผสมอาหารตามธรรมชาติ และอาหารเสริมสุขภาพ รวมทั้งข้อมูลที่ได้นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์และส่งเสริมการใช้ประโยชน์จากพืชให้คุ้มค่า นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดพืชเศรษฐกิจใหม่ๆ ที่สามารถส่งเสริมการเพาะปลูก ทำให้เกิดรายได้ให้กับชุมชนในท้องถิ่น เป็นการแก้ปัญหาความยากจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

- 1) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน
- 2) ศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

โครงการนี้มุ่งเน้นในการวิจัยการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม ในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวด้วยการทำเอนแคปซูเลชันแบบทำแห้งพ่นฝอย โดยใช้สารที่ใช้ห่อหุ้มจำนวน 3 ชนิดได้แก่ เบต้า-ไซโคลเดกตริน (β - cyclodextrins) มอลโตเดกตริน (maltodextrin) และเจลาติน (gelatin) ที่ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว 1 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพบางประการ องค์ประกอบทางเคมี และประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน เพื่อคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมแต่ละสารห่อหุ้ม จากนั้นศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวจำนวน 3 ระดับในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว ตามสภาวะที่เหมาะสมของแต่ละสารห่อหุ้ม แล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพต่างๆ องค์ประกอบทางเคมี และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน รวมถึงประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน แล้วจึงศึกษาความคงตัวของสารสำคัญและการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพที่สำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาในบรรจุภัณฑ์ 2 แบบ ที่อุณหภูมิ 3 ระดับ

1.4 คำสำคัญ (keywords) ของโครงการวิจัย

เยื่อหุ้มเมล็ดผักขาว, ไมโครเอนแคปซูเลชัน, ความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา, เบต้า-แคโรทีน, ไลโคพีน, Gac aril, microencapsulation, storage stability, β -carotene, lycopene

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) เป็นการวิจัยพื้นฐานที่จะได้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน และสภาวะที่ใช้ในการเก็บรักษาผงเยื่อหุ้มเมล็ดผักขาวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน สำหรับการประยุกต์ใช้ในเป็นสีผสมอาหาร และการใช้เป็นส่วนประกอบเชิงสุขภาพ
- 2) เพื่อสร้างบัณฑิตรุ่นใหม่ที่มีความสามารถในการวิจัยที่จะพัฒนาเป็นนักวิจัยรุ่นใหม่ ทางด้านการใช้ประโยชน์ของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของพืช ในการทำงานวิจัยงานวิจัยพื้นฐานที่พร้อมจะประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร หรือผลิตภัณฑ์เสริมสุขภาพอื่นๆ บุคลากรหรือผู้เชี่ยวชาญที่สร้างขึ้นสามารถจะนำความรู้ไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยและพัฒนาประเภทอื่นๆ ที่เกี่ยวกับการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรธรรมชาติในท้องถิ่นต่อไป อันจะเป็นประโยชน์โดยรวมกับการพัฒนาประเทศ

วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สารต้านอนุมูลอิสระ (ไมตรี, 2543)

อนุมูลอิสระ (radical) คือ อะตอมหรือโมเลกุลของสารที่สูญเสียอิเล็กตรอนเดี่ยว อาจมีเป็นประจุลบ ประจุบวก หรือเป็นกลางก็ได้ ตามธรรมชาติ อิเล็กตรอนจะอยู่เป็นคู่ หรือให้อิเล็กตรอนโดดเดี่ยวแก่สารอื่น เพื่อให้อะตอมหรือโมเลกุลมีความเสถียร หรืออาจรวมกับโมเลกุลที่ไม่เป็นอนุมูล (non-radical) ถ้าอนุมูลให้ 1 อิเล็กตรอน จะกลายเป็นอนุมูลอิสระซึ่งว่องไวมาก มีอายุสั้น และทำปฏิกิริยาแบบไม่เฉพาะเจาะจงอนุมูลอิสระอนุมูล 1 ตัวจะก่อให้เกิดอนุมูลอิสระอื่นต่อไป และเป็นปฏิกิริยาแบบลูกโซ่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งอนุมูลอิสระนั้น พบทั้งภายในและภายนอกร่างกาย อีกทั้งยังพบได้ทั่วไปในธรรมชาติและเกิดขึ้นจากในกระบวนการเมตาบอลิซึมของสิ่งมีชีวิต เช่น กลุ่มของ reactive oxygen species ที่ประกอบด้วย อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ (superoxide radicals, O_2^-), อนุมูลเปอร์ออกซิล (peroxyl radicals, $ROO\cdot$) และ อนุมูลไฮดรอกซิล (hydroxyl radicals, $OH\cdot$) อนุมูลในกลุ่มนี้ทำให้เกิดการแตกหักของชีวโมเลกุลและการสร้างสารพิษขึ้นหลายชนิด นอกจากนี้ยังกระตุ้นให้เกิดโรคเรื้อรังได้หลายโรค เช่น โรคความจำเสื่อม (Alzheimer disease) โรคหัวใจขาดเลือด โรคชราและโรคมะเร็งเป็นต้นสารต้านอนุมูลอิสระเป็นสารที่มีความสัมพันธ์กับการลดความเสี่ยงในการเกิดโรดังกล่าว อีกมีผลในเชิงสุขภาพต่อมนุษย์ ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งในส่วนี้จะกล่าวถึงความหมายของสารต้านอนุมูลอิสระ การจำแนกประเภทสารต้านอนุมูลอิสระ และวิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระ

2.1.1 ความหมายและการจำแนกประเภทสารต้านอนุมูลอิสระ

เป็นที่ทราบกันโดยทั่วไปว่าสารต้านอนุมูลอิสระ คือ สารประกอบใดๆที่ปรากฏในอาหารเพียงปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับสารประกอบที่ถูกออกซิไดส์ (oxidized) ได้ แต่สามารถยับยั้งหรือป้องกันการออกซิเดชันของสารนั้นได้ (Halliwell, 1995) นอกจากนี้สารต้านอนุมูลอิสระยังสามารถป้องกันความเสียหายที่เกิดจาก reactive oxygen species (ROS) (Shahidi, 2000) และสามารถทำปฏิกิริยากับสารโปรออกซิแดนซ์ (pro-oxidants) และสารพิษต่างๆ ได้ (Singh & Singh, 2008) จึงสามารถลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับเนื้อเยื่อไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและเอนไซม์ รวมไปถึง ดีเอ็นเอและเนื้อเยื่อต่างๆ ได้ภายในเซลล์ร่างกายอีกด้วย อย่างไรก็ตาม สารต้านอนุมูลอิสระยังหมายถึง สารในปริมาณน้อย ที่สามารถยับยั้งการเกิดออกซิเดชันของส่วนประกอบใดๆ ในอาหารได้ (MacDonald-Wicks *et al.*, 2006) เนื่องจากศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารนั้นมีความสำคัญในการชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร จึงมีรายงานการศึกษาค่าการใช้และวิธีการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระต่างๆ โดยเฉพาะสารต้านอนุมูลอิสระที่พบในธรรมชาติ

สารต้านอนุมูลอิสระสามารถจำแนกได้เป็นสารที่ทำหน้าที่ยับยั้ง หรือ ลดการเกิดออกซิเดชันของสารที่ถูกออกซิไดส์ได้ (Halliwell, 1990) หรือจำแนกสารต้านอนุมูลอิสระทางเคมีได้แก่ สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาอนุมูลอิสระ (enzyme antioxidants) สารยับยั้งปฏิกิริยาการสร้างอนุมูลอิสระ ไม่ว่าจะเป็นกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(preventive antioxidants) และสารดักจับอนุมูลอิสระ (scavenging antioxidants) นอกจากนี้อาจจำแนกตามแหล่งการเกิด ได้แก่จากภายในร่างกาย (endogenous antioxidants) เช่น superoxide dismutases, catalase และ glutathione peroxidase และภายนอกในร่างกาย (exogenous antioxidants) ซึ่งสารในกลุ่มนี้ ส่วนใหญ่พบในอาหาร เช่น วิตามินอี เบต้าแคโรทีน และไลโคพีน เป็นต้น และยังสามารถจำแนกสารต้านอนุมูลอิสระตามขั้นตอนการทำปฏิกิริยา ได้แก่ สารต้านอนุมูลอิสระปฐมภูมิ (primary antioxidants) เป็นสารที่ให้อะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลไขมัน แล้วเกิดเป็นอนุมูลที่มีความเสถียรมากขึ้น และสารต้านอนุมูลอิสระทุติยภูมิ (secondary antioxidants/ co-antioxidants) เป็นสารที่ทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระเริ่มต้น หรือ ลดปริมาณออกซิเจนเพื่อหยุดการสร้างอนุมูลอิสระ (Singh & Singh, 2008) เป็นต้น

2.1.2 การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ

การวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ เป็นการวัดปริมาณการทำปฏิกิริยาของสารต้านอนุมูลอิสระโดยรวม (Arnao *et al.*, 1998) เนื่องจากศักยภาพของสารต้านอนุมูลอิสระในอาหาร ไม่ได้มีผลมาจากสารต้านอนุมูลอิสระเพียงชนิดเดียว แต่เป็นการเสริมฤทธิ์การต้านอนุมูลอิสระของสารหลายชนิดร่วมกัน และส่งผลให้ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระโดยรวมเพิ่มขึ้น ดังนั้นการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ จึงเป็นการประมาณค่าปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระในอาหารและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณระหว่างกระบวนการแปรรูปและการเก็บรักษา (Halliwell, 1995) วิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระนั้น มีหลายวิธี ได้แก่ DPPH radical scavenging capacity (DPPH) assays), β -carotene bleaching (BCB) assay (BCB) และ Thiobarbituric acid-reactive species (TBARs) assay ก็เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน โดยเฉพาะในกลุ่มพืชสมุนไพร การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในอาหารควรวิเคราะห์อย่างน้อย 2 วิธีที่แตกต่างกัน เนื่องจากความแตกต่างของวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งแต่ละวิธีนั้น จะให้ผลที่ต่างกัน (Moon & Shibamoto, 2009)

2.1.2.1 β -carotene bleaching (BCB) assay

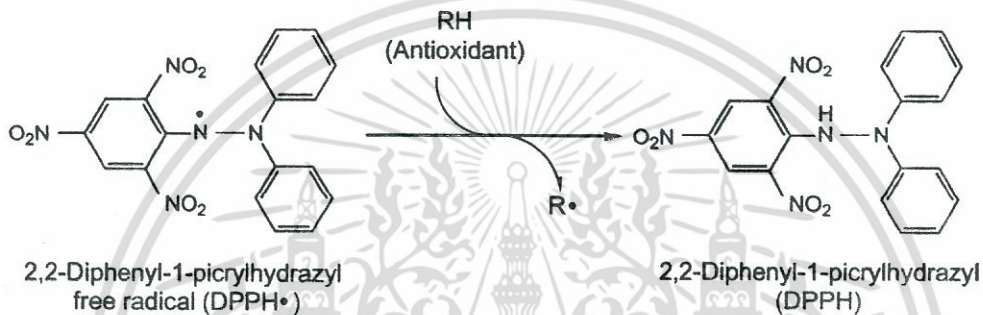
เป็นการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระจากการลดลงของสีเหลืองส้มของเบต้าแคโรทีน อันเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันลิโนเลอิกในระบบอิมัลชัน การตรวจวัดคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณนี้ทำโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ภายหลังจากการบ่มที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งถ้าในระบบนั้นมีสารต้านออกซิเดชันอยู่มาก อัตราการซีดจางของสีเหลืองส้มจะช้าลง (Kullisic *et al.*, 2004) ค่าที่วัดได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบ ได้แก่ ร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ (% radical scavenging activity) ค่าความเข้มข้นของสารสกัดที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ ร้อยละ 50 จากปริมาณอนุมูลอิสระเริ่มต้น (IC_{50}) หรือ ค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (antioxidant efficacy)

BCB เป็นการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระในระบบอิมัลชัน ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์สารต้านอนุมูลอิสระที่ละลายในไขมัน อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยวิธีนี้ค่อนข้างซับซ้อน และใช้เวลานาน อาจเกิดความคลื่อนของผลการทดสอบได้ จึงควรทำการวิเคราะห์ควบคู่กับวิธีอื่น (Kullisic *et al.*, 2004)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 DPPH radical scavenging capacity (DPPH) assay

เป็นการวัดความสามารถในการยับยั้ง 2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical โดย DPPH ทำหน้าที่เป็นสารอนุมูลไนโตรเจนที่ค่อนข้างเสถียร มีสีม่วง และเมื่อสารต้านอนุมูลอิสระเข้ามาจับอนุมูลอิสระแล้ว จะเกิดเป็น DPPH-H ซึ่งเป็นสารละลายที่ไม่มีสี กลไกการเกิดปฏิกิริยาแสดงดังภาพที่ 2.1 การตรวจวัดนี้เป็นการตรวจวัดคุณสมบัติการเป็นสารต้านอนุมูลอิสระเชิงปริมาณ โดยวัดการลดลงของค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตรภายหลังเติมสารที่ต้านอนุมูลอิสระ โดยทิ้งไว้ในที่มืดให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 30 นาที หากในระบบมีสารต้านออกซิเดชันมาก สีของสารละลายจะเปลี่ยนเป็นไม่มีสีอย่างรวดเร็ว ค่าที่ได้สามารถแสดงได้หลายรูปแบบเช่นเดียวกับ BCB

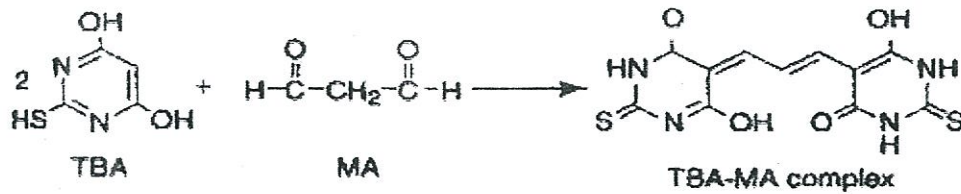


ภาพที่ 2.1 กลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง DPPH-H กับสารต้านอนุมูลอิสระ
ที่มา: Moon & Shibamoto (2009)

วิธี DPPH ใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าวิธี BCB และยังเป็นวิธีที่ง่าย มีความแม่นยำ ใช้จำนวนตัวอย่างน้อย เหมาะสำหรับวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งที่ละลายได้ในน้ำและไขมัน(นริศา, 2551; Kullisic *et al.*, 2004)

2.1.2.3 Thiobarbituric acid-reactive species (TBARS) assay

เป็นการตรวจวัดสารที่เกิดขึ้นจากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์โดยเน้นแอลดีไฮด์ที่ได้จากกรดไขมันที่มีคาร์บอนไม่อิ่มตัวมากกว่า 2 ตำแหน่ง คือ มาลอนแอลดีไฮด์ (malonaldehyde, MA) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ลำดับที่สอง (secondary end product) ของการเกิดออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเป็นหลัก (Banerjee *et al.*, 2005) วิธีการนี้เป็นการตรวจวัดสารมีสีชมพูถึงสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์จำนวน 1 โมลาร์ กับ 2-thiobarbituric acid (TBA) จำนวน 2 โมลาร์ (ภาพที่ 2.2) โดยวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารที่เกิดขึ้นที่ความยาวคลื่นแสง 532 นาโนเมตรและมักแสดงค่าเป็นร้อยละของการยับยั้งอนุมูลอิสระ



ภาพที่ 2.2 ปฏิกิริยาระหว่างมาลอนแอลดีไฮด์กับ TBA

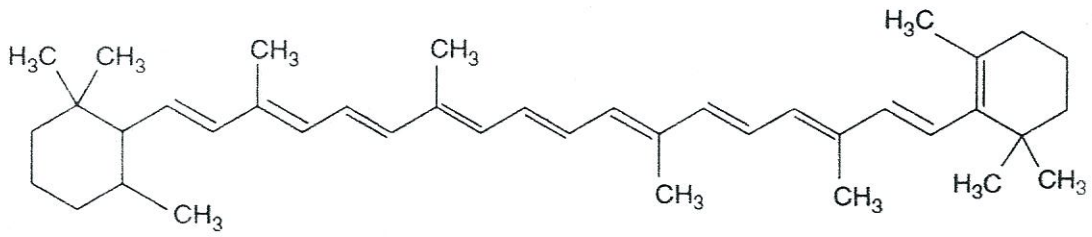
ที่มา : Pegg (2005)

TBARs เป็นวิธีการวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยวัดการเกิดขึ้นของสารจากปฏิกิริยา lipid peroxidation ขั้นที่สอง ที่มีความไวและให้ผลแม่นยำอีกวิธีหนึ่งและใช้ได้กับการวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารต้านอนุมูลอิสระทั้งที่ละลายได้ในน้ำและไขมันเช่นเดียวกับ DPPH

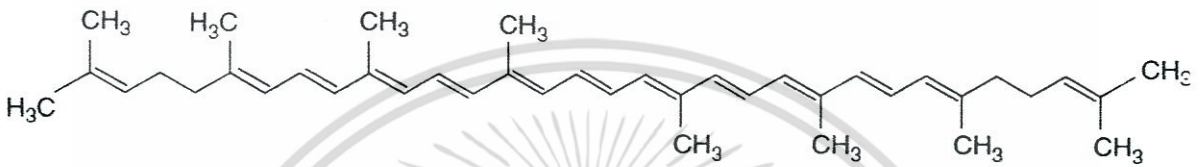
ในการวัดความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ความไวและความน่าเชื่อถือของผลการทดสอบขึ้นอยู่กับความจำเพาะเจาะจงของระบบที่ใช้ ได้แก่ ชนิดของอนุมูลอิสระ ชนิดของสารต้านอนุมูลอิสระที่ใช้ทดสอบ และสภาวะแวดล้อมในการทดสอบ เป็นต้น ดังนั้นความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระที่วัดได้แตกต่างกัน จึงขึ้นอยู่กับวิธีที่เลือกมาใช้ทดสอบด้วย (เจนจิรา และ ประสงค์, 2554; Kullisic *et al.*, 2004)

2.2 แคโรทีนอยด์

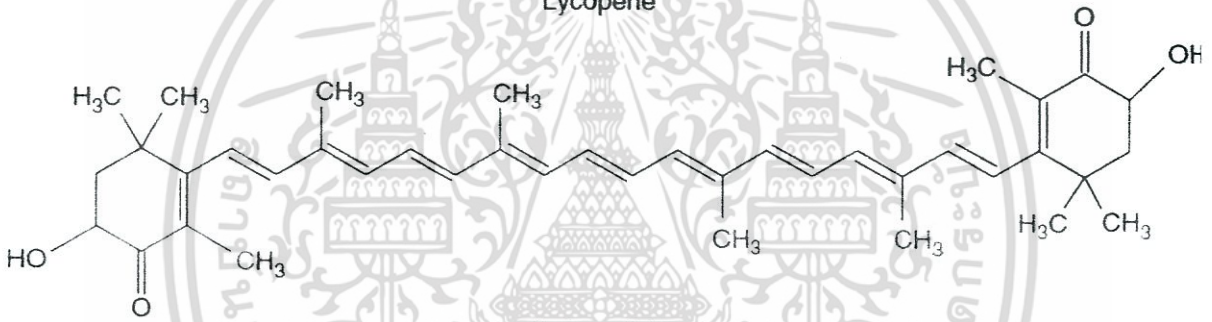
แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีจำนวนคาร์บอนอยู่ 40 อะตอม โครงสร้างพื้นฐานของแคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบในกลุ่มเทอร์พีน (terpene group) ซึ่งเป็นสารประกอบอัลคีน (alkene) ที่มีพันธะคู่จำนวนมากในโมเลกุลมาเรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกต โดยพันธะคู่ 2 คู่ จะถูกแบ่งโดยพันธะเดี่ยว และมีการเชื่อมต่อกับหมู่เมทิล และระหว่างหมู่ไอโซพรีน ดังแสดงในภาพที่ 2.3 โดยทั่วไป แคโรทีนอยด์เป็นรงควัตถุที่สำคัญในพืช ผักและผลไม้ โดยให้สีในเฉดเหลืองถึงแดง นอกจากนี้ แคโรทีนอยด์มีสมบัติเป็นไฮโดรโฟบิก (hydrophobic properties) จึงยากที่จะกระจายตัวหรือละลายในเฟสของน้ำ สารประกอบกลุ่มนี้ยังมีความสำคัญต่อสัตว์ เนื่องจากสามารถทำลายอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นทางชีวภาพได้ จึงแสดงสมบัติในการยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน การเกิดเนื้องอก ตลอดจนจนการยับยั้งการเกิดมะเร็งได้ดี (Astorg, 1997)



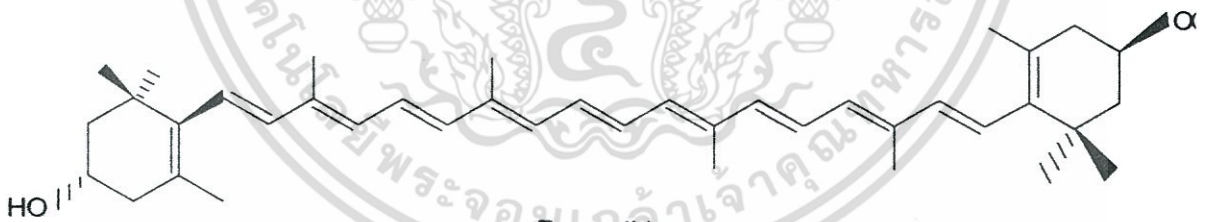
β -carotene



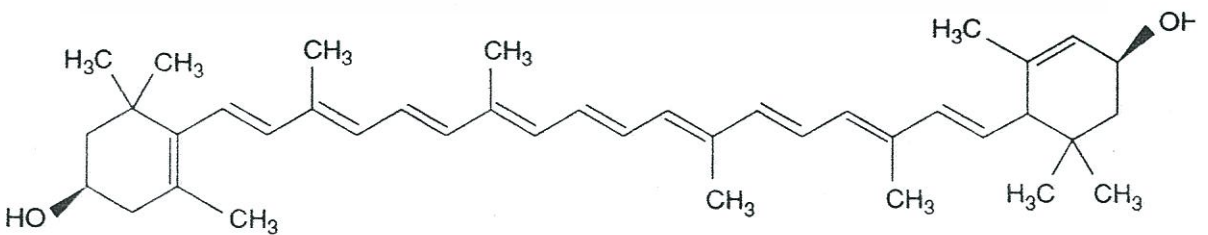
Lycopene



Astaxanthin



Zeaxanthin



Lutein

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ชนิดต่างๆ

ที่มา: Ribreiro *et al.* (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 การจำแนกสารกลุ่มแคโรทีนอยด์

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์สามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างทางเคมีได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ (Goodwin, 1980) ดังนี้

1) กลุ่มไฮโดรคาร์บอนแคโรทีน (hydrocarbon carotenes)

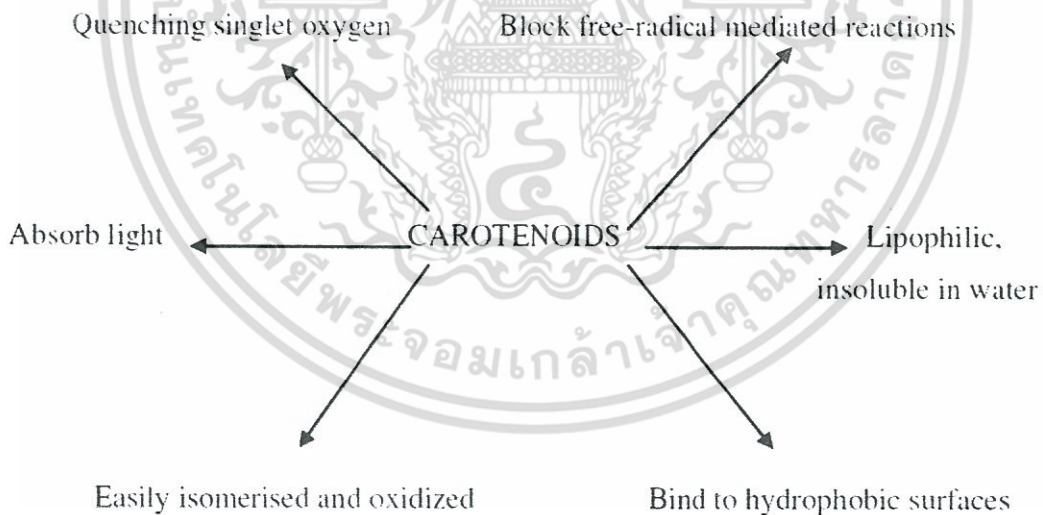
เป็นกลุ่มที่โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอนอะตอมกับไฮโดรเจนอะตอมเท่านั้น มีสูตรทั่วไป ได้แก่ $C_{40}H_{56}$ เช่น ลูทีน เบต้าแคโรทีน (β -carotene) และไลโคพีน (lycopene) เป็นต้น

2) กลุ่มออกซิเจนเตแซนโทฟิลล์ (oxygenated xanthophylls)

เป็นกลุ่มของสารแคโรทีนอยด์ที่มีหมู่อนุพันธ์ที่ประกอบด้วยออกซิเจนอะตอมอยู่ในโครงสร้างของโมเลกุลด้วย ได้แก่ สารพวกแซนโทฟิลล์ เช่น ซีแซนทิน (zeaxanthin) มีอนุพันธ์ไฮดรอกซิล และอนุพันธ์ของเมทอกซิล เป็นต้น

2.2.2 สมบัติของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์เป็นสารประกอบไอโซพรีนอยด์ (isoprenoid compounds) ที่กระจายตัวอยู่ในธรรมชาติมากกว่า 600 ชนิด ในรูปของรงควัตถุสีแดง ส้มหรือเหลือง ขึ้นอยู่กับโครงสร้างของโมเลกุลของแคโรทีนอยด์ชนิดนั้นๆ ซึ่งอนุพันธ์ของสารประกอบกลุ่มนี้ทำให้เกิดความแตกต่างของสมบัติทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 สมบัติทางกายภาพและเคมีที่สำคัญของแคโรทีนอยด์

ที่มา: Dutta *et al.* (2005)

2.2.2.1 สมบัติทางกายภาพ

แคโรทีนอยด์ละลายได้ดีในตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว แต่ไม่ละลายน้ำ การสกัดแคโรทีนอยด์ออกมาจากพืชสามารถทำได้โดยใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น บีโทรเลียมอีเทอร์ เบนซิน เฮกเซนหรืออะซีโตน นอกจากนี้ สีซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์นั้น มีความสัมพันธ์กับรูปร่างของโมเลกุล และไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติในการดูดกลืนแสง โดยแคโรทีนอยด์มีการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนของพันธะคอนจูเกตในโครงสร้าง โลโคพีนจะมีการดูดกลืนแสงสูงสุด รองลงมาเป็น แกมมาแคโรทีน และเบต้าแคโรทีนตามลำดับ (Britton, 1996)

2.2.2.2 สมบัติทางเคมี

แคโรทีนอยด์ในอาหารจะมีความคงตัวอยู่ได้ที่อุณหภูมิสูง ในสภาวะปราศจากแสงและออกซิเจน แคโรทีนอยด์ในธรรมชาติเป็นไอโซเมอร์แบบทรานส์จับกันด้วยพันธะคู่ชนิดคอนจูเกต ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นไอโซเมอร์แบบซิส (*cis-isomer*) ได้เมื่อใช้ความร้อน ตัวทำละลายอินทรีย์และกรดเป็นตัวเร่งซึ่งไอโซเมอร์แบบซิสที่เกิดขึ้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นที่ดูดกลืนแสงสูงสุดของแคโรทีนอยด์ และเป็นสาเหตุที่ทำให้การวัดปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดลดลง (Macrae, 1988)

2.2.2.3 สมบัติในการต้านอนุมูลอิสระ

สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ที่มีพันธะคู่แบบคอนจูเกต เช่น เบต้าแคโรทีน และโลโคพีน สามารถดักจับอนุมูลอิสระ (radical scavenging) และทำให้โมเลกุลของอนุมูลอิสระมีความเสถียร โดยการให้อิเลคตรอนหรืออิเลคตรอนแก่อนุมูลอิสระ นอกจากนี้ยังยับยั้งการทำงานของซิงเกิลท์ออกซิเจน (1O_2) โดยการเปลี่ยนให้อยู่ในรูปทริปเปอริท (triplet oxygen, 3O_2) โดยการทำงานแบบส่งเสริมกันของแคโรทีนอยด์ทั้งสองชนิด ทำให้ประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระดีขึ้น (Arnao *et al.*, 1998; Stahl & Sies, 2003)

2.2.3 บทบาทของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์ถูกนำมาใช้เป็นสารให้สีตามธรรมชาติและอาหารเสริมมานาน เนื่องจากมีสีส้มเป็นที่ดึงดูดใจ และยังมีประโยชน์ในเชิงสุขภาพ แต่การนำแคโรทีนอยด์จากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ยังคงต้องมีการศึกษาต่อไป

2.2.3.1 สารให้สีตามธรรมชาติ

โดยทั่วไป สารให้สีในอาหารจะถูกแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารให้สีสังเคราะห์ ซึ่งสังเคราะห์ได้จากกระบวนการทางเคมีและไม่พบในธรรมชาติ สารให้สีเลียนแบบธรรมชาติ ที่สังเคราะห์ขึ้นมาให้เหมือนกับสารให้สีจากธรรมชาติ และสารให้สีตามธรรมชาติ ที่สกัดได้จากวัตถุดิบที่บริโภคได้ เช่น โลโคพีนที่สกัดจากมะเขือเทศ เป็นต้น (Henry, 1996)

การประยุกต์ใช้สารสีตามธรรมชาตินั้น ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ การละลาย รูปร่างทางกายภาพ องค์ประกอบของอาหาร กระบวนการแปรรูปอาหารที่เอชบริจกัณฑ์และสภาวะการเก็บรักษา เป็นต้น (Henry, 1996; Delgado-Vargas & Paredes-López, 2003) ยกตัวอย่างเช่น สีของเบต้าแคโรทีนจะไม่เปลี่ยนแปลงในช่วงพีเอช 2 ถึง 7 (Gordon *et al.*, 1982) ดังนั้นจึงควรรักษาระดับ pH ให้อยู่ในช่วง 2 ถึง 7 เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่มีสีสม่ำเสมอ ปัจจุบันมีการใช้แคโรทีนอยด์เป็นสารให้สีธรรมชาติในผลิตภัณฑ์อาหารหลากหลายชนิด อาทิเช่น ผลิตภัณฑ์จากไขมัน (มาการีน น้ำมัน น้ำสลัดและซอซทเทนนิง) ผลิตภัณฑ์นม ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และไข่ น้ำผลไม้ เป็นต้น (Francis, 2000)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3.2 อาหารเสริม

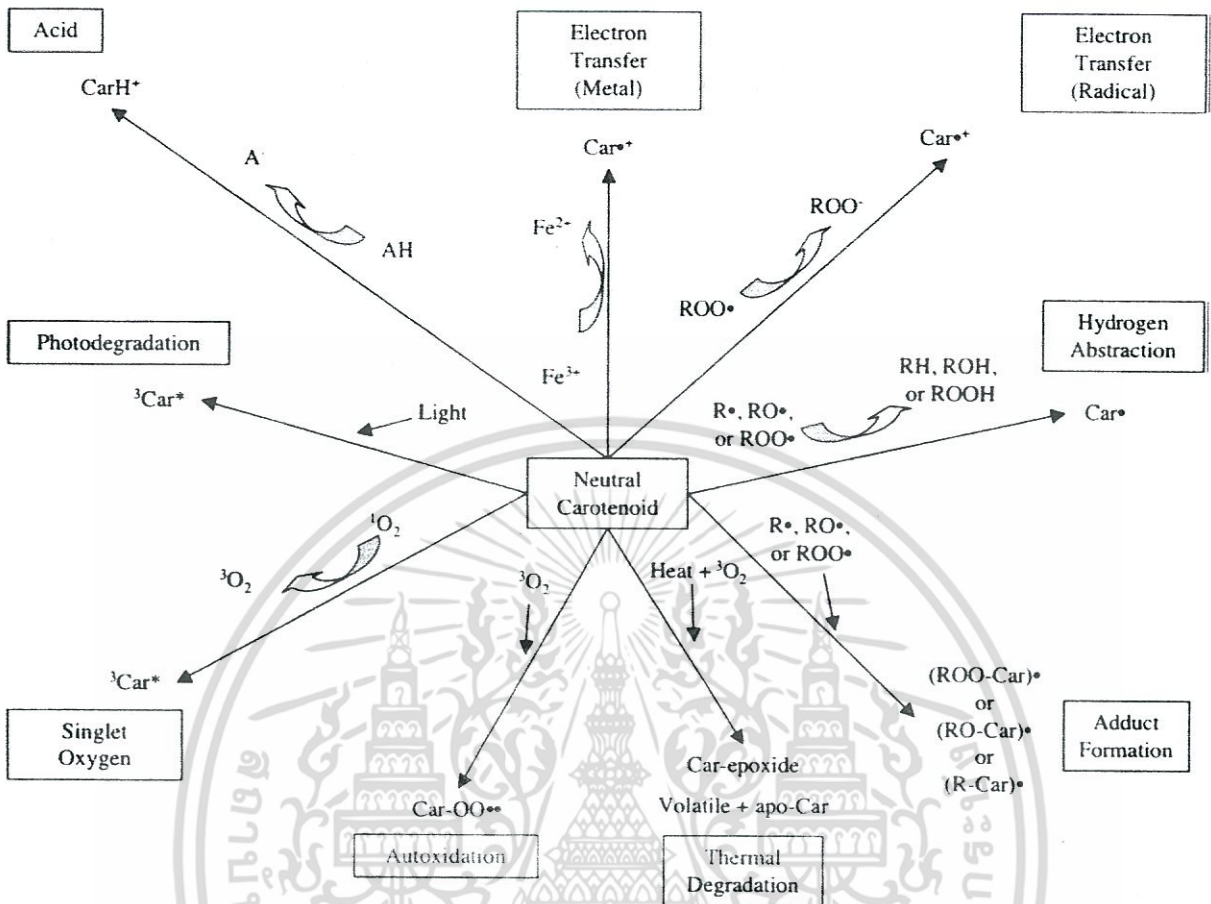
เป็นที่ทราบกันดีว่าแคโรทีนอยด์จากพืชนั้น มีบทบาทสำคัญในเชิงสุขภาพของมนุษย์ (Rao & Rao, 2007; Roberts *et al.*, 2009) มีรายงานว่าการบริโภคอาหารเสริมเบต้าแคโรทีนช่วยป้องกันมะเร็ง และลดความเสี่ยงในการเกิดโรครีเอริงหลายชนิด (Boonsiri *et al.*, 2007) และการบริโภคอาหารที่มีไลโคพีนสูงทำให้ความเสี่ยงในการเป็นมะเร็งต่อมลูกหมากลดลง (Guns & Cowell, 2005; Chan *et al.*, 2009) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าการบริโภคแคโรทีนอยด์เป็นประจำ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดมะเร็งทรวงอก (Mignone *et al.*, 2009) ดังนั้นการแปรรูปผักผลไม้ที่มีแคโรทีนอยด์สูง เพื่อนำมาเป็นอาหารเสริมในอุตสาหกรรมอาหาร จึงน่าจะช่วยลดความเสี่ยงต่อโรครดังกล่าวได้

นอกจากนี้ยังมีการใช้อาหารเสริมแคโรทีนอยด์ เพื่อป้องกันการขาดวิตามินเอและช่วยในการรักษาโรคต่างๆ อีกหลายชนิด Strobel *et al.* (2007) รายงานการเสริมเบต้าแคโรทีนจากผักผลไม้ในอาหารสำหรับสตรีมีครรภ์และให้นมบุตร เพื่อเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอให้กับร่างกายนำไปใช้ในการเจริญของตัวอ่อน ซึ่งโดยทั่วไปเบต้าแคโรทีน 12 มิลลิกรัม จะเปลี่ยนเป็นวิตามินเอได้ 1 มิลลิกรัม ส่วน Vuong *et al.* (2002) ได้ทดลองใช้ข้าวที่หุงกับเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเสริมเบต้าแคโรทีน 3.5 มิลลิกรัมกับกลุ่มผู้ทดลอง พบว่าหลังจากการให้อาหารเสริม 30 วัน ผู้ทดลองกลุ่มตัวอย่างมีระดับไลโคพีน เบต้าแคโรทีนและเรตินอลในพลาสมาเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ต่อมา Tran *et al.* (2008) รายงานการใช้ผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นสารให้สีและอาหารเสริมแคโรทีนอยด์ในโยเกิร์ต พาสต้าและครีมชอส และมีข้อเสนอแนะว่าควรมีการปรับกระบวนการผลิตให้เหมาะสม เช่น ปริมาณผงฟักข้าวที่ใช้ อายุการเก็บรักษา และประโยชน์ในเชิงสุขภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เป็นต้น

2.3.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์

ด้วยลักษณะโครงสร้างทางเคมีของแคโรทีนอยด์ที่ประกอบด้วย conjugated polyene chain ทำให้แคโรทีนอยด์มีความไวต่อการเกิดออกซิเดชันด้วยปัจจัยแวดล้อมต่างๆ ได้ง่าย อาทิเช่น ออกซิเจน แสงและความร้อน เป็นต้น (Ribeiro *et al.*, 2010) และมีกลไกการเกิดออกซิเดชันทั่วไปดังแสดงในภาพที่ 2.5 และเมื่อกระบวนการเกิดออกซิเดชัน ได้เริ่มต้นขึ้นด้วยปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง แคโรทีนอยด์อาจทำปฏิกิริยากับตัวของมันเอง หรือสารอื่นในสภาพแวดล้อมและเกิดเป็นสารอนุพันธ์ของแคโรทีนอยด์อีกจำนวนมาก (Boon *et al.*, 2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์จากปัจจัยต่างๆ
ที่มา: Boon et al. (2010)

2.3.3.1 ออโต้ออกซิเดชัน

การทำปฏิกิริยาของแคโรทีนอยด์กับออกซิเจนในอากาศนั้น เกิดขึ้นได้ง่ายในระบบที่มีแคโรทีนอยด์บริสุทธิ์ที่อยู่ในตัวทำละลายอินทรีย์ (Boon et al., 2010) ออโต้ออกซิเดชันของเบต้าแคโรทีนในเบนซีน หรือเตตราคลอโรเมเทนในที่มีด ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส สามารถเกิดขึ้นได้โดยใช้เวลาน้อยกว่า 1 ชั่วโมง ในสภาวะที่มีออกซิเจนและเกิดอนุพันธ์จากการออกซิเดชันมากกว่า 20 ชนิด โดย Mordí et al. (1993) รายงานว่า กระบวนการออโต้ออกซิเดชันของเบต้าแคโรทีนส่งผลให้เกิดการผลิตสารอีพอกไซด์ และสารประกอบคาร์บอนิล ตามด้วยการเกิดออกซิเดชันของสารประกอบเหล่านี้ ได้เป็นสารประกอบคาร์บอนิลที่มีสายโซ่คาร์บอนสั้นลง คาร์บอนไดออกไซด์และ กรดคาร์บอกซิลิก

2.3.3.2 การสลายตัวด้วยความร้อน

การให้ความร้อนแก่แคโรทีนอยด์ในสภาวะที่มีออกซิเจน ทำให้เกิดการสร้างสารประกอบทั้งที่ระเหยได้ และสารประกอบที่ไม่ระเหย (Bonnie & Choo, 1999) นอกจากนี้ Marty & Berset (1990) รายงานว่า การให้ความร้อนโดยตรงกับเบต้าแคโรทีนบริสุทธิ์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมงทำให้เกิดไอโซเมอร์แบบ cis-เป็นจำนวนมาก รวมถึงสารอนุพันธ์จากการเกิดออกซิเดชันอีกด้วยและการเติมออกซิเจนลงไป ส่งผลให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบต้าแคโรทีนเกิดการสลายตัวเพิ่มขึ้น จึงสรุปว่าทุกพันธะคู่ของเบต้าแคโรทีนสามารถถูกออกซิไดส์ได้ และการแตกตัวของพันธะคู่นี้ เริ่มจากปลายสายเข้ามาสู่แกนกลางของโมเลกุลเบต้าแคโรทีน

2.3.3.3 โฟโตออกซิเดชัน

การสัมผัสกับแสง ทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ผ่านหลายกลไก และโฟโตออกซิเดชัน ทำให้เกิดอนุมูลประจุบวกของแคโรทีนอยด์ (Konovalova *et al.*, 2001; Mortensen & Skibsted, 1996) จากการทดลองให้เบต้าแคโรทีนในคลอโรฟอร์มสัมผัสแสงช่วงรังสี UV พบว่าแสงจะกระตุ้นโมเลกุลของเบต้าแคโรทีน ให้ทำปฏิกิริยากับคลอโรฟอร์ม เกิดเป็นอนุมูลเบต้าแคโรทีนจากกลไก hydrogen abstraction และโมเลกุลเบต้าแคโรทีนที่อยู่ในสภาวะกระตุ้น (excited state) จะกลับสู่สภาวะปกติ (ground state) โดยการทำปฏิกิริยากับอนุมูลที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยา และเกิดการสลายตัวอย่างช้าๆ จากการสร้างอนุมูลประจุบวกของเบต้าแคโรทีน (Mortensen & Skibsted, 1996)

2.3.3.4 อนุมูลอิสระ

ในระบบอาหาร อาจพบอนุมูลอิสระเนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดออกซิเดชันของไขมัน (Choe & Min, 2006) แคโรทีนอยด์ ซึ่งเป็นได้ทั้งสารต้านอนุมูลอิสระและสารตั้งต้นของอนุมูลอิสระ ขึ้นอยู่กับชนิดและระดับของแคโรทีนอยด์ ปริมาณออกซิเจน และความมีขั้วของตัวทำละลาย (Haila *et al.*, 1997) และเมื่อมีอนุมูลอิสระ แคโรทีนอยด์ย่อมเกิดปฏิกิริยาได้หลากหลาย ผ่านกลไกการถ่ายโอนอิเล็กตรอน hydrogen abstraction หรือกลไกอื่นๆ (Britton, 1996) และสารที่ได้ผ่านกลไกเหล่านี้ อาจเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องกันเป็นลูกโซ่ ได้เป็นอนุมูลอิสระหลากหลายสปีชีส์

ในอาหารที่เสริมแคโรทีนอยด์นั้น ความเสียหายจากการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ สามารถส่งผลให้เกิดการเสื่อมถอยคุณภาพในผลิตภัณฑ์ได้ เช่น การซีดจางของสี การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการ การหืน เป็นต้น ดังนั้นจึงควรทราบถึงกลไกการเกิดออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ เพื่อหาเทคนิคที่เหมาะสมในการรักษาความคงตัวของแคโรทีนอยด์ในผลิตภัณฑ์อาหารเอาไว้ให้ได้มากที่สุด

2.3 พักข้าว

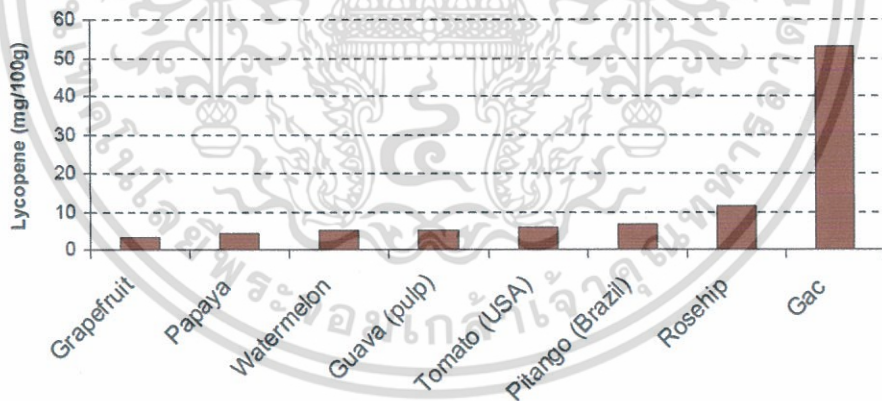
พักข้าว อยู่ในวงศ์แตงกวาและมะระ คือ วงศ์ Cucurbitaceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Momordica chinensis* Spreng. ชื่อเรียกอื่นคือ ขี้กาเครือ (ปัตตานี) ผักข้าว (ตาก ภาคเหนือ) มะข้าว (แพร่) แก๊ก (ภาคเวียงเหนือ) Baby Jackfruit, Spiny Bitter Gourd, Sweet Gourd, และ Cochin-chin Gourd ลักษณะผลเป็นทรงกลม หรือทรงรี มีหนามสั้นๆ ปกคลุมอยู่ที่เปลือกด้านนอก ผลอ่อนเป็นสีเขียวและเมื่อผลสุกเต็มที่จะเปลี่ยนเป็นสีส้มแดง (ภาพที่ 2.6) พืชชนิดนี้มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน พม่า ไทย ลาว บังกลาเทศ มาเลเซียและฟิลิปปินส์ ประเทศไทยนิยมใช้ผลพักข้าวอ่อนสีเขียวเป็นอาหาร รสชาติเนื้อพักข้าวเหมือนมะละกอ ลูก หรือต้มให้สุก หรือต้มกะทิจิ้มน้ำพริกกะปิ หรือใส่แกง ส่วนยอดอ่อน ใบอ่อน นำมาใช้เป็นผัก ด้วยการนึ่งหรือลวกให้สุก กินกับน้ำพริก หรือนำไปปรุงเป็นแกง เช่น แกงแค (สุธาทิพย์, 2550) ในขณะที่ประเทศเวียดนามนิยมใช้ผลสุกที่มีลักษณะเปลือกหนา เนื้อในหนาสามารถกินได้และมีสีส้ม นำมาประกอบอาหาร โดยนำเยื่อหุ้มเมล็ดจากผลพักข้าวสุกพร้อมเมล็ดมาหุงกับข้าวเหนียว ได้ข้าวสีส้มแดงมีกลิ่นหอม และมีความเชื่อว่าบำรุงสายตา (Vuong *et al.*, 2002) อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 ผลฟักข้าวสุก

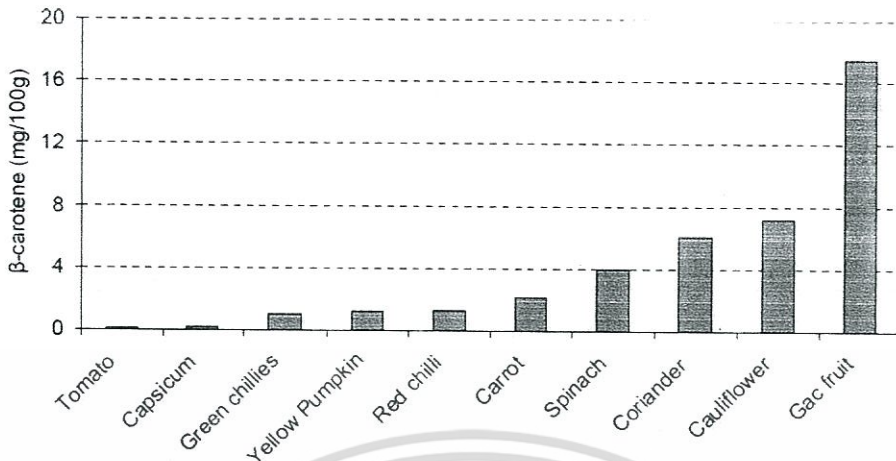
2.3.1 คุณค่าทางโภชนาการของฟักข้าว

มีรายงานว่า ผลฟักข้าวมีปริมาณแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูง เมื่อเทียบกับผักและผลไม้หลายชนิดดังภาพที่ 2.7 (Bauernfeind, 1972) และภาพที่ 2.8 (Voung *et al.*, 2002)



ภาพที่ 2.7 ปริมาณไลโคพีนในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ
ที่มา: Bauerenfeind (1972)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.8 ปริมาณเบต้าแคโรทีนในผักและผลไม้ชนิดต่างๆ
ที่มา: Voung *et al.* (2002)

West & Poortvliet (1993) รายงานปริมาณ เบต้าแคโรทีนและแคโรทีนอยด์ทั้งหมด เท่ากับ 188 และ 891.5 ไมโครกรัมต่อกรัมเยื่อหุ้มเมล็ดสด ส่วน Voung *et al.* (2002) รายงานปริมาณ เบต้าแคโรทีนและไลโคพีนเท่ากับ 175 และ 802 ไมโครกรัมต่อกรัมเยื่อหุ้มเมล็ดสด ตามลำดับ ต่อมา Voung *et al.* (2006) รายงานปริมาณองค์ประกอบของสารสำคัญในเชิงสุขภาพของผลฟักข้าว (ไมโครกรัมต่อกรัมเยื่อหุ้มเมล็ดสด) ไว้ดังนี้ แอลฟาแคโรทีน (2.8 ± 0.5) เบต้าแคโรทีน (83.3 ± 40.4) ไลโคพีน (408.4 ± 178.6) และแอลฟาโทโคฟีรอล (76.3 ± 22.2) ส่วน Nguyen (2012) รายงานปริมาณสารสำคัญในน้ำมันจากเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมผลสด) ว่ามีปริมาณเบต้าแคโรทีน 160.67 ไลโคพีน 120.23 ไบโตามีนอี และไบโตามีนซี 34.61 นอกจากนี้ Ishida *et al.* (2004) ยังได้รายงานปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนในเนื้อฟักข้าวสูงถึง 2,227 และ 718 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความแปรปรวนของสารสำคัญในผลไม้ชนิดนี้ สำหรับประเทศไทย สุรชาติพิทย์ (2550) รายงานปริมาณสารสำคัญของผลฟักข้าว คือ เบต้าแคโรทีน 22.1 และไลโคพีน 0.9 ไมโครกรัมต่อกรัมน้ำหนักผล ส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงมีปริมาณเบต้าแคโรทีน และไลโคพีนแสดงดังตารางที่ 2.1 โดยเยื่อสีแดงดังกล่าวมีปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคพีน มากกว่าที่พบในแครอทและมะเขือเทศ ถึง 10 และ 12.26 เท่าต่อผล ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนในเนื้อและเยื่อเมล็ดฟักข้าว

สารสำคัญ	เนื้อผล (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักผล)	เยื่อหุ้มเมล็ด (ไมโครกรัม/กรัม น้ำหนักผล)
เบต้าแคโรทีน	22.1	101
ไลโคพีน	0.9	380

ที่มา: สุรชาติพิทย์ (2550)

เบต้าแคโรทีนเป็นรงควัตถุที่สำคัญในฟักข้าว นอกเหนือใช้เป็นสีผสมอาหารตามธรรมชาติแล้ว ยังเป็นโปรวิตามินเอ (provitamin A carotenoid) อีกด้วย โดยตับสามารถเปลี่ยนเบต้าแคโรทีนไปเป็นเอ็กซาลารีนเป็นเอ็กซาลารีนทงส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเขียวบริเวณต้นมีการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิตามินเอ 2 โมเลกุล จึงใช้ในการบำบัดโรคตาบอดในที่มืด (blind eye) ในเด็ก โดยสามารถเพิ่มปริมาณเรตินอล และเบต้าแคโรทีนในพาสมาอย่างมีนัยสำคัญในกลุ่มเด็กที่รับประทานข้าวฟ่างด้วยผลฟักข้าว เปรียบเทียบกับเด็กที่รับประทานข้าวผสมสีสังเคราะห์สีแดง (Kuhnlein, 2004) นอกจากนี้ยังมีสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่สำคัญชนิดหนึ่งที่มีสมบัติในการทำลายอนุมูลอิสระทั้งแบบ *In vivo* และ *In vitro* นอกจากนี้ยังสามารถยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน (lipid peroxidation) ได้ดีอีกด้วย (Handelman, 2001)

ไลโคพีนเป็นรงควัตถุสีส้มแดงที่สำคัญอีกชนิดที่พบในผลฟักข้าวสุก และจัดเป็นสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติที่นิยมใช้ในอาหารหลายชนิด และสามารถลดความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งต่อมลูกหมาก มะเร็งปอด และมะเร็งกระเพาะอาหารลดลง (Goula & Adamopoulos, 2005) นอกเหนือจากเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนแล้ว ยังพบลูทีน (lutein) และสารประกอบฟีนอลิกอื่นๆ ที่มีสมบัติในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น กรดแกลลิก กรดพารา-ไฮดรอกซีเบนอิก เพอรูลิก และไมริซีทิน เป็นต้น ส่วนฟลาโวนอยด์ที่พบได้แก่ เอพิจินิน ลูทีน และ ลูทีโอลิน เป็นต้น ซึ่งองค์ประกอบของสารสำคัญเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเจริญและการสุกของผลฟักข้าว (Kubola & Siriamornoun, 2011) นอกจากนี้ Ishida *et al.* (2004) ยังได้รายงานปริมาณกรดไขมันสูงถึง 22 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) ในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ประกอบด้วยกรดโอเลอิก ปาร์มิติก และลิโนเลอิก

ผลฟักข้าวมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ โดยมีรายงานการวิจัยต่างๆ ดังนี้ Aoki *et al.* (2002) รายงานว่า ไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนจะทำงานร่วมกันและเสริมฤทธิ์ความเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ โดยเฉพาะในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว นอกจากนี้ยังมีรายงานปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อปริมาณและความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน ดังนี้ Sone *et al.* (2010) ทำการวิเคราะห์ผลของตัวทำละลายต่อความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธีต่างๆ พบว่า สารสกัดด้วยเมธานอล บิวทานอล และเอธิลอะซิเตท มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงที่สุด รองลงมาได้แก่ คลอโรฟอร์ม และเมธานอล นอกจากนี้ยังพบว่าสารสกัดด้วยเมธานอล 60 เปอร์เซ็นต์ มีความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระ DPPH สูงกว่าเมธานอลในสัดส่วนอื่นๆ ต่อมา Kubola *et al.* (2011) รายงานว่า ผลของตัวทำละลายและวิธีการทำแห้งต่อปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน พบว่า ตัวทำละลายที่มีส่วนประกอบของคลอโรฟอร์มและเมธานอลจะให้ผลดีกว่าการใช้ปิโตรเลียมอีเธอร์ และเฮกเซน นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในน้ำมันจากเยื่อหุ้มเมล็ด มีปริมาณสูงกว่าในพืชสด และการทำแห้งด้วยลมร้อนจะมีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูงกว่าการทำแห้งด้วยลมร้อนแบบความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ และการทำแห้งแบบอินฟราเรด

สุธาทิพย์ (2550) เรียบเรียงไว้ในเอกสารวิชาการทางการแพทย์เกี่ยวกับคุณประโยชน์ของฟักข้าวไว้ว่า ประเทศจีนใช้เมล็ดแก่ของฟักข้าวเป็นยามานาน กว่า 1,200 ปี ใช้บำบัดอาการอักเสบวม กลากเกลื้อน ผื่น อากาการฟักข้า ริดสีดวง แก้กท้องเสีย อากาการผื่นคันและโรคผิวหนังติดเชื้อต่าง ๆ ทั้งในมนุษย์และสัตว์ต่างๆ ส่วนในประเทศเวียดนามใช้เยื่อสีแดงและเมล็ด (น้ำมัน) เป็นยา การกินฟักข้าวเป็นยานั้น ใช้เมล็ดแก่บดแห้ง ส่วนการใช้ภายนอก ให้นำเมล็ดฟักข้าวบดแห้งผสมน้ำมันหรือน้ำส้มสายชูเล็กน้อย ทาบริเวณที่มีอาการและใช้เยื่อเมล็ดแทนสีผสมอาหารได้ นอกจากนี้ยังพบว่า สารสกัดจากเมล็ดฟักข้าวสามารถกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกัน ร่วมกับการใช้วัคซีนในการป้องกันการติดเชื้อ Newcastle disease ในไก่ (Xiao *et al.*, 2009) ต่อมาพบว่าสารสกัดจากเมล็ดฟักข้าวสามารถกระตุ้นการสร้างภูมิคุ้มกันการติดเชื้อ infectious bursal disease ในไก่ด้วยการกระตุ้นการแบ่งเซลล์ของเม็ดเลือดขาว (Rajput *et al.*, 2010)

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น ผลพื้ข้าวจึงเป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระที่ดี และสามารถนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร รวมถึงประโยชน์ทางสุขภาพได้ จึงมีผู้นำเยื่อหุ้มเมล็ดนี้เป็นเครื่องเติม ผลิตภัณฑ์อาหาร และผลิตภัณฑ์อาหารเสริมจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศดังนั้นจึงควรมีกรรมวิธีการแปรรูปที่เหมาะสม เพื่อคงคุณค่าทางโภชนาการไว้ให้ได้มากที่สุด

2.4 เอนแคปซูลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เอนแคปซูลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีที่นิยมใช้กับสารสีและสารสำคัญในธรรมชาติ ได้มีการศึกษาการป้องกันการสลายตัวของสารสำคัญต่างๆ เช่น สารกลุ่มแคโรทีนอยด์ ระหว่างกระบวนการเอนแคปซูลชันออกมามีอย่างต่อเนื่อง และพื้ข้าวก็เป็นแหล่งของแคโรทีนอยด์ที่ดีอีกแหล่งหนึ่ง ดังนั้นจึงน่าจะมีการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมกับการเอนแคปซูลชันแคโรทีนอยด์ในพื้ข้าว ในแง่ของสารห่อหุ้ม และสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสมที่จะใช้กับสารกลุ่มนี้

2.4.1 เอนแคปซูลชัน

เอนแคปซูลชัน (Encapsulation) เป็นกระบวนการที่นำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อปกป้องส่วนประกอบของอาหารจากการสูญเสีย หรือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบที่สำคัญ เช่น วิตามิน สารโภชนเภสัช และ สารให้กลิ่นรส เป็นต้น จากปฏิกิริยาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอาหาร โดยเฉพาะปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือสูญเสียจากการระเหยออกจากอาหาร ที่เกิดจากอุณหภูมิแสง ความชื้นสัมพัทธ์ และออกซิเจน เป็นต้น (Desai & Park, 2005; Gonnet *et al.*, 2010) สำหรับกลไกการปกป้องกัน เกิดจากแยกส่วนที่จะเกิดปฏิกิริยาหรือสูญเสียออกจากสภาพแวดล้อมของอาหาร ด้วยการห่อหุ้มหยาบๆ ของของเหลวหรืออนุภาค (encapsulated หรือ core materials) ของสารสำคัญหรือสารให้กลิ่นรส ด้วยเมมเบรน หรือ พอลิเมอร์บางๆ (wall system) ที่มีขนาดตั้งแต่ 1 ไมครอนถึง 1,000 ไมครอนดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของไมโครแคปซูล
ที่มา : Furuta *et al.*(1983)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ชนิดของสารเคลือบที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

โดยทั่วไปสารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชันสารสำคัญ หรือส่วนประกอบต่างๆ ของอาหารในอุตสาหกรรมอาหารนั้นมีหลากหลายชนิด ซึ่งการเลือกใช้สารห่อหุ้มนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและส่วนประกอบของสารแกนกลาง ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของสารห่อหุ้มประเภทต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เพื่อที่จะเลือกใช้สารห่อหุ้มให้เหมาะกับสารสำคัญที่ต้องการห่อหุ้มด้วย ในการเลือกสารห่อหุ้มนั้น ควรเลือกสารที่มีคุณสมบัติหลากหลาย เช่น มีความสามารถในการเกิดอิมัลชันที่ดี มีคุณสมบัติการสร้างฟิล์มที่ดี มีความหนืดต่ำเมื่อใช้ความเข้มข้นสูง สามารถปกป้องสารสำคัญได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา และราคาไม่แพง (Shahidi & Han, 1993)

ตารางที่ 2.2 สารห่อหุ้มที่ใช้ในการเอนแคปซูเลชันสารสำคัญและส่วนประกอบของอาหาร

ประเภท	สารห่อหุ้ม
คาร์โบไฮเดรต	สตาร์ชมอลโตเดกตริน คอร์นไซรัป เดกซ์แทรน ซูโครส โซโคลเดกตริน
เซลลูโลส	คาร์บอกซีเมธิลเซลลูโลส เมธิลเซลลูโลส เฮติลเซลลูโลส ไนโตรเซลลูโลส อะเซทิลเซลลูโลสเซลลูโลสอะซีเตต
กัม	อะเคเซียกัม ผงวุ้น โซเดียมอัลจิเนต คาราจีแนน
ลิพิด	แวกซ์ พาราฟิน กรดไตรสเตียริก ไดกลีเซอไรต์ โมโนกลีเซอไรต์ น้ำมันไขมัน
โปรตีน	กลูเตน เคซีน เจลาติน อัลบูมิน ฮีโมโกลบิน เปปไทด์

ที่มา: Shahidi & Han (1993)

สารห่อหุ้มมีบทบาทสำคัญต่อความคงตัวของสารสำคัญโดยเฉพาะแคโรทีนอยด์ จึงควรมีการเลือกใช้สารห่อหุ้มที่มีความจำเพาะเจาะจง เพื่อให้การเอนแคปซูเลชันเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และแคโรทีนอยด์มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา โดยมีรายงานการรักษาความคงตัวของแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน ดังนี้ Wagner & Warthesen (1995) ใช้สตาร์ชที่ผ่านการไฮโดรไลซ์ 4, 15, 25 และ 36.5 DE เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลชันแคโรทีนอยด์ในแครอท พบว่าผงแครอทที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน มีอายุการเก็บรักษานานกว่าน้ำแครอทที่ไม่ผ่านการเอนแคปซูเลชันด้วยสตาร์ช 70 ถึง 220 เท่าและแครอทผงที่ห่อหุ้มด้วยสตาร์ช 36.5 DE มีปริมาณแอลฟาแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนสูงที่สุด ต่อมา Rodriguez-Huezo *et al.* (2004) รายงานการเอนแคปซูเลชันแคโรทีนอยด์ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ในระบบอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมันในน้ำ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยและใช้ไบโอพอลิเมอร์เป็นสารห่อหุ้มพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารห่อหุ้ม ส่งผลให้ขนาดอนุภาคและรูปร่างของไมโครแคปซูล ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันดีขึ้น แต่จะมีการสลายตัวของแคโรทีนอยด์สูงกว่าการใช้สารห่อหุ้มในปริมาณน้อย

Rascón *et al.* (2011) รายงานความคงตัวของแคโรทีนอยด์ใน paprika oleoresin ที่ผ่านการเอนแคป-ซูเลชันโดยการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้กัมอารบิกและโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองเป็นสารห่อหุ้มพบว่าไมโครแคปซูลมีความคงตัวของแคโรทีนอยด์ต่อการเกิดออกซิเดชันมากที่สุด เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และค่าอัตราการออกซิเดชัน 0.274 สำหรับไมโครแคปซูลที่ใช้กัมอารบิก และ 0.743 สำหรับโปรตีนสกัดจากถั่วเหลืองตามลำดับ ส่วน Matioli & Rodriguez-amaya (2002) รายงานว่า เมื่อเก็บเอกสารเป็นเอกสารทงสวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ผลิตเห็นใบเขียวประยชน์ในการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รักษาไลโคพีนที่ผ่านการเอนแคปซูลเลท โดยใช้กัมอาร์บิกเป็นสารห่อหุ้มที่อุณหภูมิห้องโดยปราศจากแสง พบว่าไลโคพีนมีปริมาณลดลง 50 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเก็บรักษาได้ 18 วัน นอกจากนี้ Shu *et al.* (2006) รายงานว่าไลโคพีนที่ห่อหุ้มด้วยเจลาตินและซูโครส และเอนแคปซูลเลชันด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย บรรจุในถุงพลาสติกใส มีการสลายตัว 15 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังจากเก็บรักษา 28 วัน ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

2.4.2.1 มอลโตเดกทรีน

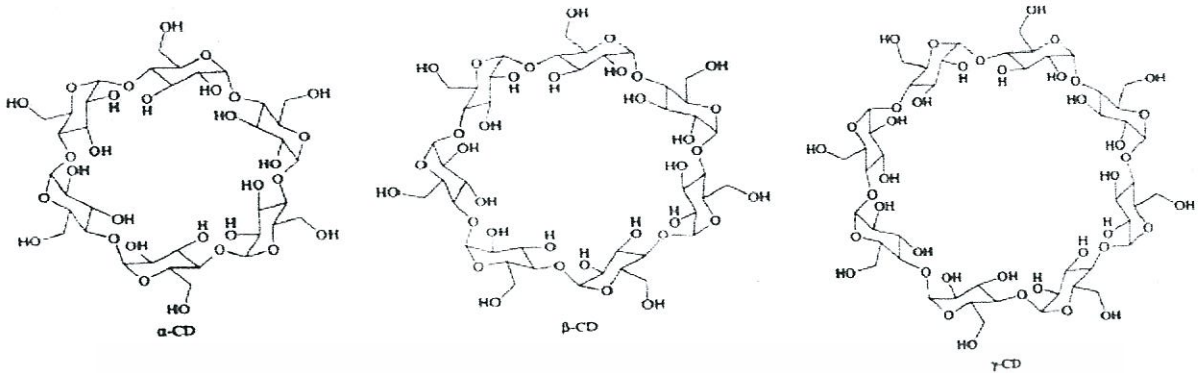
มอลโตเดกทรีน (maltodextrin) คือ สตาร์ชที่ผ่านการไฮโดรไลซิสบางส่วนด้วยเอนไซม์หรือกรด มอลโตเดกทรีนที่มีค่าสมมูลเดกโทรส (dextrose equivalent, DE) น้อยกว่า 20 ประกอบด้วย 1,4 และ 1,6-แอลฟา-ดี-กลูโคไพราโนส-ลิงค์เกต เรซิดิวส์ (1,4 and 1,6- α -D-glucopyranose-linked residues) (Nickerson *et al.*, 2006) ซึ่งค่า DE คือ ค่า reducing power ของพอลิแซคคาไรด์หรือโอลิโกแซคคาไรด์ที่ได้จากสตาร์ชเปรียบเทียบกับ ดี-กลูโคส โดยน้ำหนักฐานแห้ง โดยปกติมอลโตเดกทรีนมีค่า DE น้อยกว่า 20 มักอยู่ในรูปผงสีขาวแห้งหรือของเหลวข้นที่ไม่มีรสหวาน สามารถละลายน้ำได้ดี มอลโตเดกทรีนที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็ง ความหนืด เป็นต้น เมื่อผสมมอลโตเดกทรีนที่มีค่า DE ต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีความเหนียวและนำไปทำให้แห้ง จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีการเกาะติดกันต่ำกว่า สามารถทำให้แห้งได้ง่าย ทำให้โครงสร้างของผลิตภัณฑ์มีความเหนียวลดลง นิยมใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูลเลทสารสำคัญต่างๆ และเป็นสารเพิ่มปริมาณได้

รายงานการใช้มอลโตเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้มพบในงานวิจัยหลายชิ้น เช่น การเอนแคปซูลเลทแคโรทีนอยด์ใน paprika oleoresin โดยใช้มอลโตเดกทรีน DE 15 (Beatus *et al.*, 1985) การเอนแคปซูลเลทแคโรทีนในแครอทด้วยมอลโตเดกทรีนที่มี DE แตกต่างกัน (Wagner & Warthersen, 1995) และเบต้าแคโรทีนในมอลโตเดกทรีน DE 25 (Dersobry *et al.*, 1997) นอกจากนี้ Kha *et al.* (2010) รายงานการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดของผลพริกขี้หนูด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโตเดกทรีนเป็นสารที่ใช้ห่อหุ้ม พบว่า การเพิ่มปริมาณมอลโตเดกทรีนทำประสิทธิภาพในการเอนแคปซูลเลชันเพิ่มขึ้น แต่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการต้านปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดของผลพริกขี้หนู คือ ปริมาณมอลโตเดกทรีน 20 เปอร์เซ็นต์

2.4.2.2 ไซโคลเดกทรีน

ไซโคลเดกทรีน (cyclodextrins) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีขนาดเล็กกว่าสตาร์ช มีโครงสร้างโมเลกุลทั้งชนิดที่เป็นสายเดี่ยวหรือมีการแตกกิ่ง รวมทั้งมีโครงสร้างต่อกันเป็นวง ผลิตจากการไฮโดรไลซิสสตาร์ชด้วยเอนไซม์จากจุลินทรีย์ *Bacillus macerans* ซึ่งจะได้เดกทรีนแบบเป็นวงเรียกว่า ไซโคลเดกทรีน ซึ่งมีทั้งชนิดแอลฟา เบต้า และแกมมา ซึ่งมีจำนวน glucopyranose units แตกต่างกัน ดังมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.10 การมีโครงสร้างเป็นวงและมีช่องว่างด้านในและมีสมบัติเป็นสารไฮโดรโฟบิก เพราะมีกลุ่มไฮดรอกซิลซึ่งเป็นสารที่มีขั้วอยู่ด้านนอกของวง จึงทำให้สามารถดักสารที่ไม่มีขั้วที่มีขนาดพอเหมาะกับช่องว่างเก็บไว้ได้ และทำให้สารดังกล่าวมีเสถียรภาพดีขึ้น เช่น สารสีตามธรรมชาติ สารสำคัญต่างๆ วิตามิน และสารให้กลิ่นรส (Ashtray *et al.*, 2009)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 โครงสร้างทางเคมีของแอลฟา เบตา และแกมมา-ไซโคลเดกทริน
ที่มา: Ashtray *et al.* (2009)

โดยทั่วไปสารเบต้าไซโคลเดกทริน มักจะถูกนำมาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอาหารและยา มากที่สุดเนื่องจากมีต้นทุนการผลิตต่ำกว่าไซโคลเดกทรินอีก 2 ชนิด และมีความสามารถในการสร้าง สารประกอบเชิงซ้อนกับสารที่ต้องการห่อหุ้มได้ดี (Szente & Szejtli, 2004) จึงมีการนำมาใช้เป็นสาร ห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลทสารสำคัญที่มีความไวต่อสภาวะแวดล้อม ได้แก่ แสง ออกซิเจน อุณหภูมิ เป็นต้น เพื่อเพิ่มความคงตัวต่อการออกซิเดชันของสารสำคัญ และการสลายตัวด้วยความร้อน จึงยืดอายุการเก็บ รักษาของสารสำคัญได้ยาวนานขึ้น โดยมีรายงานการใช้ไซโคลเดกทรินเป็นสารห่อหุ้มดังนี้ Blanch *et al.* (2007) กล่าวว่า *all-trans*-lycopene จากมะเขือเทศที่ผ่านการเอนแคปซูเลทด้วยเบต้าไซโคล เดกทริน มีความคงตัวในการเก็บรักษาได้นานกว่า 6 เดือน นอกจากนี้ Basu & Vecchio (2001) กล่าวว่า การใช้แอลฟาไซโคลเดกทรินเป็นสารห่อหุ้มแคโรทีนอยด์จากน้ำมันคาโนลา ช่วยรักษาปริมาณแคโรที นอยด์และโทโคฟีรอลได้ ขณะเดียวกัน Szente *et al.*, (1998) รายงานว่า การก่อสารประกอบเชิงซ้อน กับแอลฟาไซโคลเดกทริน และเมธิลเบต้าไซโคลเดกทริน ทำให้แคโรทีนอยด์มีความคงตัวระหว่างการเก็บ รักษาได้ดีขึ้น ส่วน Nunes & Mercadante (2007) เปรียบเทียบการเอนแคปซูเลทไลโคพีนโดยใช้เทคนิค การทำแห้งแบบพ่นฝอยโดยมีอาร์บิกัมและน้ำตาลซูโครสเป็นสารห่อหุ้ม และเทคนิคการสร้างสารประกอบ เชิงซ้อนกับเบต้าไซโคลเดกทรินและทำแห้งแบบเยือกแข็ง พบว่าการใช้เทคนิคทั้งสองมีประสิทธิภาพเอน แคปซูเลชัน 94-96 เปอร์เซ็นต์

2.4.2.3 เจลาติน

เจลาติน (gelatin) เป็นไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ซึ่งเป็นโปรตีนที่ได้จากการเสีย สภาพธรรมชาติและสกัดได้จากคอลลาเจน (collagen) ซึ่งเป็นโปรตีนธรรมชาติที่มีอยู่ใน กระดูก หนังสัตว์ และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) ของสัตว์ เช่น ควาย หมู วัว โดยใช้ความร้อนและกรด หรือ ด่าง เพื่อย่อยหรือสลายให้โมเลกุลของคอลลาเจนเล็กลงเปลี่ยนเป็นเจลาติน เจลาตินมีลักษณะเป็นแผ่น ชิ้น เกร็ด หรือผงสีเหลืองอ่อน หรือสีเหลืองอำพัน ละลายได้ในน้ำร้อนไม่ละลายในน้ำเย็น แต่จะอ่อนนุ่ม พองตัว และอุ้มน้ำได้ 5-10 เท่าของน้ำหนักเดิม เจลาตินถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นสารห่อหุ้มในการเอนแคปซูเลท สารสำคัญ เนื่องการสมบัติการเปอิมัลชันที่ดี มีการสร้างฟิล์ม (film-forming) ละลายน้ำได้ดี บริโภคได้ และย่อยสลายได้ง่าย (Bruschi *et al.*, 2003) นอกจากนี้การเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนยังทำให้ เจลาตินมีสมบัติการเป็น plasticizer ที่ช่วยให้ไมโครแคปซูลที่ได้นั้น มีรูปร่างเป็นทรงกลม ผิวเรียบและเพิ่ม ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงยึดเกาะระหว่างสารหุ้มและสารแกนกลาง (Bruschi *et al.*, 2003) โดยมีรายงานการใช้สารหุ้มผสมระหว่างการใช้เจลาตินร่วมกับกรดโพลิแกมมากลูตามิก (γ-PGA) เป็นสารหุ้ม ในการเอนแคปซูลเลทไลโคพีน (Chen *et al.*, 2007) เจลาตินและซูโครส ในการเอนแคปซูลเลทเบต้าแคโรทีน (Zhu *et al.*, 1998; Robert *et al.*, 2003) และไลโคพีน (Shu *et al.*, 2006) โดยอัตราส่วนระหว่างเจลาตินต่อซูโครสเท่ากับ 3:7 ทำให้ไลโคพีนมีความคงตัวดีที่สุดใน

2.4.3 เทคนิคการเอนแคปซูลเลชัน

โดยทั่วไปเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูลเลชันมีอยู่หลายเทคนิค และสามารถจำแนกออกเป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ ทางเคมี และทางเคมีกายภาพ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และเทคนิคที่นิยมใช้อย่างมากในกระบวนการเอนแคปซูลเลชันเทคนิคหนึ่ง คือ วิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) เนื่องจากมีต้นทุนไม่สูงนัก หากเทียบกับวิธีอื่น และได้ผลิตภัณฑ์แห้งที่มีคุณภาพดี และเหมาะสมกับสารที่มีความไวต่อสภาพแวดล้อม ดังเช่น แคโรทีนอยด์ โดย Dersobry *et al.* (1997) ได้เปรียบเทียบการเอนแคปซูลเลทเบต้าแคโรทีนด้วยเทคนิคที่ต่างกัน ได้แก่ การทำแห้งแบบพ่นฝอย การทำแห้งแบบเยือกแข็ง และการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง พบว่า เบต้าแคโรทีนมีการสลายตัวมากที่สุดเมื่อใช้เทคนิคการทำแห้งแบบลูกกลิ้ง ส่วนเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยทำให้ได้รูปร่างไมโครแคปซูลที่มีทรงกลม และมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด เมื่อเทียบกับอีก 2 วิธี

ตารางที่ 2.3 เทคนิคที่นิยมใช้ในกระบวนการเอนแคปซูลเลชัน

ประเภท	เทคนิคที่ใช้
กายภาพ	Spray drying, spray chilling, spray cooling, fluid bed coating (spray coating in fluidized bed), extrusion, multiorifice centrifugal extrusion, co-crystallization, freeze drying
เคมี	Molecular inclusion (inclusion complexation), interfacial polymerization
เคมี-กายภาพ	Coacervation (aqueous phase separation), organic phase separation, liposome entrapment

ที่มา: Shahidi & Han (1993)

2.4.4 การทำแห้งแบบพ่นฝอย (ไทรท์ และคณะ, 2556)

การทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นการระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็ว กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว (feed) ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็ก เข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหยไปทั้งหมด และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง สำหรับกระบวนการทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์นั้น จะเริ่มทำตั้งแต่ใส่ของเหลวลงในเครื่องแล้วรอจนของเหลวมีความชื้นในระดับที่เหมาะสมต่อการฉีกให้ออกมาเป็นละออง จากนั้นจึงแยกผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการทำแห้งออกมา สำหรับตัวอย่างของเหลวที่นำมาทำแห้งนั้นสามารถใช้ได้ทั้งที่อยู่ในสภาพของสารละลายที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นเนื้อเดียวกัน หรือสลายที่ไม่นเนื้อเดียวกัน ที่อยู่ในรูปของสลายของผสมระหว่างของแข็ง และของเหลว (slurry) หรือของเหลวกับของเหลว

หลักการส่วนเครื่องมือที่ใช้สำหรับกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย คือ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) โดยหลักการทำแห้งด้วยวิธีนี้เริ่มจากทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็กๆ แล้ว ไหลผ่านไปในห้องพ่นฝอยซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่าน ในขณะที่เดียวกันเนื่องจากหยดของเหลวมีขนาดเล็กมากประมาณ 100-200 ไมโครเมตร ทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากขึ้น การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดของเหลวอนุภาคเล็กๆ อย่างรวดเร็วจากนั้นผงของอาหารแห้งจะตกลงมาแล้วถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป กระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอยประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

2.4.4.1 การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็ก

การทำของเหลวให้มีอนุภาคขนาดเล็ก (atomization) หรือหยดของเหลวเป็นหัวใจหลักของการอบแห้งแบบพ่นฝอย เพราะจะเป็นตัวทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยเพิ่มมากขึ้น สามารถเพิ่มอัตราการระเหยน้ำออกจากอาหารได้ และทำให้เกิดละอองฝอย ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เมื่อของเหลวมีขนาดเล็กลงจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายโอนความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายโอนความร้อนและการ ถ่ายโอนมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2.4.4.2 การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง

การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (atomization of feed) กระบวนการนี้เป็นการพ่นฝอยของเหลวให้กระจายตัวกลายเป็นละออง โดยใช้หัวฉีดแบบสองของไหล (two-fluid nozzle atomizer หรือ pneumatic nozzle atomizer) อุปกรณ์พ่นฝอยชนิดนี้ ของเหลวและอากาศจะไหลผ่านหัวของหัวฉีดและแตกเป็นละอองฝอย เนื่องจากการไหลผ่านของอากาศด้วยความเร็วสูงภายในหัวฉีดการปรับอัตราการไหลของอากาศ จะช่วยในการกระจายเป็นละอองของเหลว วิธีนี้นิยมใช้กับของเหลวที่มีความหนืดสูง

2.4.4.3 การสัมผัสระหว่างละอองหยดของเหลวกับอากาศร้อน

ในขั้นตอนนี้ออนุภาคของอาหารจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้ในอาหารเหลวรับความร้อนจากอากาศร้อนทำให้เกิดการระเหยน้ำออกไป และได้เป็นผลิตภัณฑ์ผงตกลงมา และแยกออกจากลมร้อน ดังนั้นการกำหนดทิศทางของการเคลื่อนที่ของอากาศร้อน เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึง ถ้าทิศทางของอากาศเหมาะสม ทำให้การถ่ายโอนความร้อนเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วการสัมผัสระหว่างอนุภาคอาหารกับอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบคือ

1) การไหลไปในทิศทางเดียวกัน (co-current flow) อาหารเหลวจะถูกพ่นออกไปในทิศทางเดียวกันกับอากาศร้อนที่ไหลเข้า วิธีนี้เหมาะสำหรับสารที่ไม่ทนต่อความร้อนเนื่องจากมีการระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วในเวลาอันสั้นมาก อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนขาออกผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ

2) การไหลสวนทางกัน (counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นและอากาศร้อนไหลในทิศทางตรงกันข้ามเริ่มจากอนุภาคของอาหารที่มีอุณหภูมิต่ำ เมื่อได้รับความร้อนจะมี

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อน ลักษณะนี้จะมีการถ่ายโอนความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูงและต้องการความร้อนมาก

3) การไหลแบบผสมกัน (mixed-flow) สารละลายและอากาศร้อนจะไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางกัน

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าการทำแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็วโดยอากาศร้อน และได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง เมื่อการทำแห้งดำเนินต่อไปจะเกิดชั้นฟิล์มแห้งขององค์ประกอบของแข็งที่ผิว หุ้มรอบๆ สารแกนกลาง หรือสารสำคัญ เพื่อปกป้องสารแกนกลางจากสภาวะแวดล้อมที่ก่อให้เกิดการสูญเสียสารสำคัญได้ ดังนั้น การทำแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่านิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ต่อเนื่อง และง่ายต่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเอนแคปซูเลชัน และคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้นั้น มีหลายปัจจัยได้แก่ อุณหภูมิของสารตั้งต้น อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า อุณหภูมิลมร้อนขาออก อัตราการไหลเข้าของของเหลวความเร็วลม และขนาดของละอองที่ถูกพ่นฝอย เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องหาสภาวะการทำแห้งที่เหมาะสมที่สุด สำหรับสารที่ต้องการเอนแคปซูเลท อาทิเช่น Kha *et al.* (2010) รายงานการทำแห้งเยื่อหุ้มเมล็ดของผลฟิกซ์ด้วยวิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยกำหนดอุณหภูมิขาเข้าตั้งแต่ 120 ถึง 200 องศาเซลเซียส พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าทำให้ประสิทธิภาพในการเอนแคปซูเลชันลดลง และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 120 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการเอนแคปซูเลชันเยื่อหุ้มเมล็ดฟิกซ์ โดยที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ค่าการต้านออกซิเดชัน และค่าสีแดงสูงที่สุด ส่วนการกำหนดอุณหภูมิขาเข้าของการทำแห้งแบบพ่นฝอย 200 ± 5 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิขาออก 100 ± 5 องศาเซลเซียสโดยใช้แบ่งตัดแปร 36.5 DE เป็นสารห่อหุ้มจะสามารถรักษาความคงตัวของแอลฟาและเบต้าแคโรทีนจากแครอทได้ดีที่สุด (Wagner & Warthesen, 1995)

ในขณะเดียวกัน Robert *et al.* (2003) รายงานว่า การกำหนดอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 100 ± 5 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิขาออก 65 ± 5 องศาเซลเซียส รวมถึงความดันขณะพ่นฝอย 5 กิโลกรัม/ตารางเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลทแคโรทีนอยด์จาก *Rosa mosqueta* ไม่ให้เกิดการสลายตัวได้ดีที่สุด นอกจากนี้ Goula & Adamopoulos (2007) พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันไลโคพีน ได้แก่ ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มและสารแกนกลาง อุณหภูมิของสารตั้งต้นก่อนเอนแคปซูเลชัน และอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า โดยที่ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันสูงที่สุด 93.19 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิของสารละลายก่อนเอนแคปซูเลชัน 52 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 147 องศาเซลเซียส ขณะที่ Shu *et al.* (2006) รายงานการใช้อุณหภูมิสารตั้งต้นก่อนเอนแคปซูเลชัน 55 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 190 องศาเซลเซียส ว่าเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเอนแคปซูเลทไลโคพีนด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

นอกจากนี้ ความเข้มข้นของสารที่ต้องการห่อหุ้ม ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน โดย Rocha *et al.* (2012) ศึกษาการเอนแคปซูเลทไลโคพีนที่ความเข้มข้น 5 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย พบว่าประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันอยู่ระหว่าง 21 – 29 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Goula & Adamopoulos (2007) เอนแคปซูเลทไลโคพีนโดยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอย และใช้อัตราส่วนสารแกนกลางต่อสารห่อหุ้ม 1/3.3 มีประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน 93.19 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเอนแคปซูเลชันเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่งที่จะปกป้องสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ระหว่างไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการทำแห้ง จึงควรเลือกใช้สารห่อหุ้มและสภาวะการทำแห้งแบบพ่นฝอยที่เหมาะสม เพื่อที่จะป้องกันการสลายตัวของโครทีนอยด์ในเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว และสามารถนำผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูลแล้ว ไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไปได้

2.5 ความคงตัวของอาหารระหว่างการเก็บรักษา

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร

นอกจากการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างกระบวนการแปรรูปอาหารแล้ว อาหารยังมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพระหว่างการเก็บรักษาได้อีกด้วย โดยทั่วไปแล้วการเปลี่ยนแปลง หรือการเสื่อมถอยคุณภาพของอาหาร สามารถจำแนกได้เป็น 3 ด้าน ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำความเข้าใจถึงสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงคุณภาพนั้น เพื่อหาวิธีป้องกันและยืดอายุการเก็บรักษาอาหารให้ยาวนานขึ้น

การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารแห้ง มักมีสาเหตุจากการเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้อายุการเก็บรักษาลดลง อาทิเช่น การเก็บอาหารผงไว้ในที่ที่มีความชื้นสูง อาหารผงจะเกิดการดูดน้ำเข้าสู่ตัวผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นสูงขึ้น อายุการเก็บรักษาลดลง (Singh, 2000) นอกจากนี้ เมื่ออาหารผงสัมผัสกับความชื้นสูง หรือเมื่ออุณหภูมิในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ผลิตภัณฑ์อาหารจะเกิดการจับตัวเป็นก้อน เนื่องจากการดูดน้ำเข้าสู่อาหารผงนั้น (Robertson, 2006)

การสลายตัวของคุณลักษณะทางประสาทสัมผัส หรือคุณค่าทางโภชนาการ มักมีสาเหตุมาจากปฏิกิริยาทางเคมี โดยสาเหตุหลักๆ ของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีระหว่างการเก็บรักษา มักเกิดจากปฏิกิริยาของส่วนประกอบภายในอาหารเอง และปฏิกิริยาระหว่างส่วนประกอบของอาหารกับสภาวะแวดล้อมภายนอก เช่น แสง ออกซิเจน อุณหภูมิ และวอเตอร์แอกติวิตี (A_w) ซึ่งส่งผลต่อการสลายตัวของสารสำคัญ และการเกิดออกซิเดชันของไขมันในอาหารระหว่างการเก็บรักษาโดยอาหารที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวสูง จะมีเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว เมื่อเก็บรักษาในสภาวะที่ไม่เหมาะสม อาทิเช่น การสัมผัสกับออกซิเจนหรืออุณหภูมิสูงนอกจากนี้ ปฏิกิริยาเคมียังมีความสัมพันธ์กับการทำงานของเอนไซม์ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน และการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่เอนไซม์ (non-enzymic browning) ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ ล้วนนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่นรส สารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการที่มีอยู่ในอาหาร (Singh, 2000; Robertson, 2006)

การเสื่อมคุณภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา ยังมีสาเหตุมาจากจุลินทรีย์ได้อีกทางหนึ่งด้วยเป็นที่ทราบกันว่าอัตราการเจริญของจุลินทรีย์นั้นเป็นผลมาจากทั้งปัจจัยภายในของอาหาร ได้แก่ ฟีเอชวอเตอร์แอกติวิตี และปริมาณสารอาหาร ส่วนปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิในการเก็บรักษา ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซในสภาวะแวดล้อม (Robertson, 2006) โดยทั่วไป อาหารที่มีความชื้นต่ำ หรือผ่านการทำแห้ง จะมีการเจริญของจุลินทรีย์ต่ำไปด้วยดังนั้นการเก็บรักษาอาหารในสภาวะที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอาหารเกิดการเสื่อมถอยคุณภาพจึงเป็นสิ่งจำเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 อัตราการเสื่อมถอยคุณภาพของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารระหว่างการเก็บรักษา สามารถทำนายได้ด้วยจลศาสตร์ของปฏิกิริยา (reaction kinetics) ดัชนีการเสื่อมถอยคุณภาพจากการวัดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสถูกนำมาใช้เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร และนำไปสร้างแบบจำลองเพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารในสภาวะการเก็บต่างๆ รวมถึงประเมินอายุการเก็บรักษาของอาหารอีกด้วย (Robertson, 2006) การเสื่อมถอยคุณภาพอาหารโดยปัจจัยภายในและภายนอกสามารถอธิบายได้ด้วยสมการ

$$-dC/dt = f(i, E_j)$$

ขณะที่ $-dC/dt$ เป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของดัชนีการเสื่อมถอย (C) ต่อเวลา (t) ; ส่วนเครื่องหมายลบจะใช้ในกรณีที่ความเข้มข้นของ C ลดลงเมื่อเวลาผ่านไป

i : ปัจจัยภายใน ($i = 1 \dots m$)

E_j : ปัจจัยภายนอก ($j = 1 \dots n$)

ในความเป็นจริงแล้ว เป็นการยากที่จะทราบถึงกลไกในการเกิดปฏิกิริยาในอาหารที่แท้จริง ที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหาร เนื่องจากความซับซ้อนตามธรรมชาติของอาหารเอง ดังนั้นการเสื่อมถอยคุณภาพจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยา หรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น ดังสมการ

$$-dA/dt = kA^n$$

โดย A เป็นความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ทำปฏิกิริยา

t เป็นเวลา

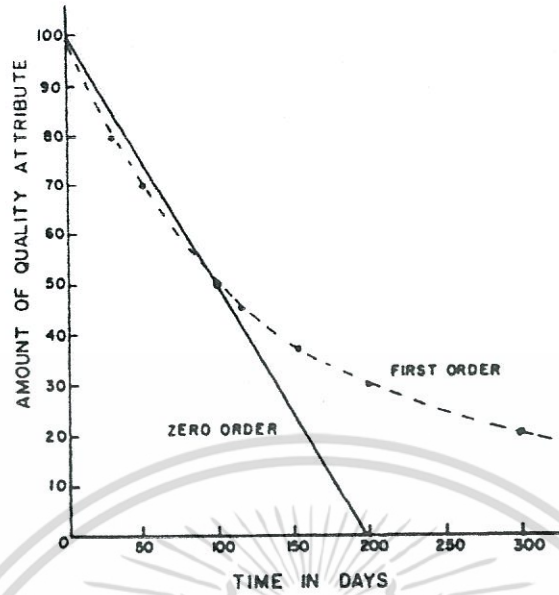
k เป็นค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา (rate constant) ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิ a_w และความเข้มแสง

n เป็นอันดับของปฏิกิริยา (order of the reaction)

dA/dt เป็นการเปลี่ยนแปลงของ A ต่อเวลา

โดยทั่วไปแล้ว การเปลี่ยนแปลงคุณภาพในอาหาร มักเป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับ 0 หรือ 1 อัตราการเกิดปฏิกิริยาอันดับ 0 (pseudo zero order reaction) มักใช้อธิบายปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ ในผลิตภัณฑ์ธัญชาติและผลิตภัณฑ์นมผง การเกิดออกซิเดชันและการหืนของไขมัน และการสลายตัวโดยเอนไซม์ของผักผลไม้สด อย่างไรก็ตาม การเสื่อมถอยคุณภาพของอาหารที่เป็นไปตามปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ได้แก่ การสูญเสียวิตามิน การเสียสภาพของโปรตีน และการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น ภาพที่ 2.11 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารที่เป็นไปตามปฏิกิริยาต่างกันทั้ง 2 อันดับ (Singh, 2000; Robertson, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.11 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารต่อเวลาตามปฏิกิริยาอันดับ 0 และอันดับ 1
ที่มา: Robertson (2006)

นอกจากนี้ อาจมีความต้องการทราบค่าครึ่งชีวิต (half-life) ของการสลายตัวของสารตั้งต้นในอาหาร จึงมีการประยุกต์ใช้สมการการคำนวณดังนี้

$$t_{1/2} = 0.693/k$$

2.5.3 ผลของปัจจัยภายนอกต่ออัตราการเกิดการเสื่อมถอยคุณภาพ (Singh, 2000; Robertson, 2006)

2.5.3.1 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิจัดว่าเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ ที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเสื่อมถอยคุณภาพ โดยความสัมพันธ์ระหว่างผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเสื่อมถอยคุณภาพ สามารถแสดงได้ด้วยสมการ Arrhenius ดังนี้

$$d(\ln k)/dT = E_a/RT^2$$

โดยที่ k เป็นค่าคงที่ของอัตราการเกิดปฏิกิริยา

E_a เป็นพลังงานกระตุ้น (activation energy) (kcal)

R เป็นค่าคงที่ของก๊าซ (1.987 kcal.mol⁻¹)

T เป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature) (K)

การใช้สมการ Arrhenius ในการทำนายการเสื่อมถอยคุณภาพนี้ อาจมีข้อจำกัด เมื่ออุณหภูมิที่เก็บรักษาอาหารสูงกว่า 40 องศาเซลเซียสได้ ส่วนค่า E_a บ่งบอกความไวต่ออุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของปฏิกิริยา ซึ่ง E_a ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ ได้แก่ วอเตอร์แอกติวิตี ปริมาณความชื้น ปริมาณของแข็ง และ พีเอช (Robertson, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจุบันมีการใช้ค่า Q_{10} (temperature quotient) ในการแสดงผลของอุณหภูมิที่ต่างกัน 10 องศาเซลเซียสต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ

$$Q_{10} = k_{T+10}/k_T$$

โดย k_T เป็นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา

k_{T+10} เป็นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส

2.5.3.2 วอเตอร์แอกติวิตี้

ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ เป็นอัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอของน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือเท่ากับปริมาณความชื้นสัมพัทธ์หารด้วย 100 โดยที่ความชื้นใดๆ ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ ดังแสดงไว้ในสมการ Clausius-Clapeyron ดังนี้

$$\ln(a_{w2} - a_{w1}) = (\Delta H/R)(1/T_1 - 1/T_2)$$

ขณะที่ a_{w1} และ a_{w2} เป็นค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ที่อุณหภูมิสมบูรณ์ T_1 และ T_2 (K)

ΔH เป็นพลังงานในการดูดความร้อนของอาหารที่ความชื้นใดๆ ($J \text{ mol}^{-1}$)

เมื่อเก็บรักษาอาหารไว้ในที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ในที่สุดความชื้นอาหารจะเข้าสู่สมดุลกับสิ่งแวดล้อม Moisture sorption isotherms จะถูกพลอตขึ้นระหว่างปริมาณความชื้นกับวอเตอร์แอกติวิตี้ที่อุณหภูมิกงที่ เพื่อนำไปประเมินความคงตัวของอาหารและเลือกบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อให้มี วอเตอร์แอกติวิตี้ต่ำที่สุด (Robertson, 2006)

2.5.3.3 ออกซิเจนในอากาศ

เป็นที่ทราบกันดีว่า ออกซิเจนในอากาศมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร อาทิเช่น การสูญเสียแคโรทีนอยด์เนื่องจากการเกิดออกซิเดชัน เมื่อสัมผัสออกซิเจนในอากาศ ดังนั้น เพื่อรักษาความคงตัวของสารสำคัญและคุณค่าทางโภชนาการต่างๆ จึงต้องการสภาวะการบรรจุที่ปราศจากออกซิเจน หรือลดปริมาณออกซิเจนให้อยู่ในระดับต่ำ ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การสร้างสภาวะสุญญากาศ หรือการพ่นก๊าซไนโตรเจนในบรรจุภัณฑ์อาหาร เป็นต้น

2.5.3.4 แสง

ความเข้มของแสงและระยะเวลาการสัมผัสแสง มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพอาหารทั้งทางกายภาพ ได้แก่ การซีดจางของสี และทางเคมี เช่น การสูญเสียคุณค่าทางโภชนาการระหว่างการเก็บรักษา การสูญเสียวิตามินที่ละลายในไขมันบางชนิด มีผลมาจากการเกิดออกซิเดชันของไขมันโดยมีแสงเป็นตัวเร่ง นอกจากนี้แสงยังเป็นตัวเร่งให้เกิดการออกซิเดชันของรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์อีกด้วย ดังนั้น เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร จึงควรเลือกใช้บรรจุภัณฑ์ที่สามารถป้องกันอาหารจากการสัมผัสแสงโดยตรงได้ (Robertson, 2006)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 วัตถุดิบ

- ผลฟักข้าวสุกที่นำมาจากไร่ฟักข้าว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

3.2.1 การผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

- บีกเกอร์
- ขวดสีชา
- ขวดปรับปริมาตร
- แท่งแก้วคนสาร
- ซ้อนตักสาร
- ตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร
- เครื่องชั่ง 2 และ 4 ตำแหน่ง
- Hand refractometer
- Homogenizer
- เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย model EYELA SD-1000
- ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

3.2.2 การสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง

- Hot plate stirrer
- Separating funnel
- Sonicator
- Vortex mixer
- Micropipette
- ถังก๊าซไนโตรเจน
- ตู้แช่แข็ง
- เครื่องวัด A_w แบบควบคุมอุณหภูมิ
- ตู้อบลมร้อน
- อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
- เครื่องวัดค่าสีระบบ CIE Hunter L* a* b*
- เครื่อง UV-vis spectrophotometer
- Vial สีชา ขนาด 2 มิลลิลิตรพร้อมฝาปิด
- ชุดกรองตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์ HPLC
- C18 RP column (Inertsil ODS-3, 5 μ m 150 x 4.6 mm I.D.)
- Shimadzu HPLC system

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 สารเคมี

3.3.1 การผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

- มอลโตเดกทริน (maltodextrin) DE 12
- เจลาติน (gelatin)
- เบต้าไซโคลเดกทริน (β - cyclodextrins)

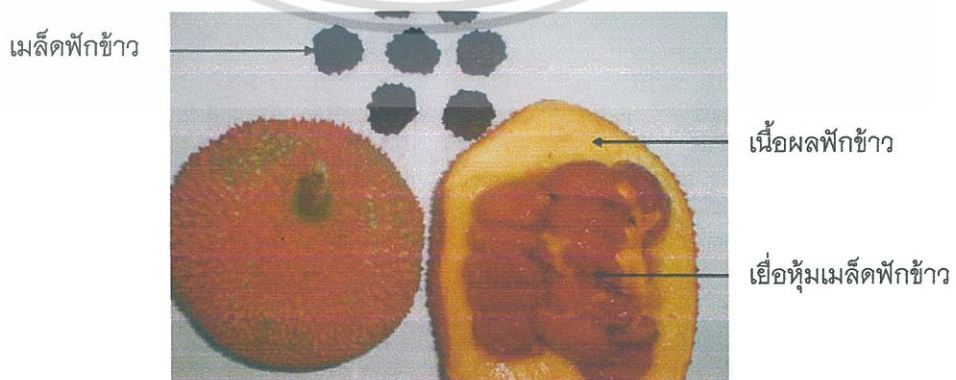
3.3.2 สารเคมีสำหรับการสกัดและวิเคราะห์ตัวอย่าง

- Chloroform AR grade
- Acetone AR grade
- n-butanol AR grade
- Distilled water
- Tween 20
- Acetonitrile HPLC grade
- Dichloromethane HPLC grade
- Methanol HPLC grade
- 2, 2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) จากบริษัท Sigma
- Linoleic acid จากบริษัท Sigma
- Lycopene standard จากบริษัท Sigma
- β -carotene standard จากบริษัท Sigma

3.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การเตรียมตัวอย่างเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

นำผลฟักข้าวสุกมาแยกเอาส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดสีแดงออก ดังภาพที่ 3.1 จากนั้นบดแล้วกรองผ่านตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำส่วนที่กรองผ่านตะแกรงไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปทำการทดลองต่อไป



ภาพที่ 3.1 การแยกเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารที่ใช้ห่อหุ้มในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน

นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนัก) ผสมกับสารที่ใช้ห่อหุ้ม (wall materials) ได้แก่ เบต้าไซโคลเดกตริน มอลโตเดกตริน และเจลาติน โดยมีขั้นตอนการเตรียมดังภาพที่ 4 ในอัตราส่วนที่ต่างกัน 3 ระดับ จากนั้นนำสารผสมผ่านตัวกรอง และทำแห้งด้วยวิธีแบบพ่นฝอยที่อุณหภูมิร้อนขาเข้าต่างๆ 3 ระดับดังตารางที่ 3.1 ด้วยเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย EYELA SD-1000 model ที่ประกอบด้วย หออบแห้ง (spray-drying chamber) ขนาด 300 x 300 x 350 มิลลิเมตร หัวฉีดแบบ 2 ทาง (two-way nozzle atomizer) ไซโคลน (cyclone separator) บัลมร้อน (hot air blower) exhaust blower และ โถเก็บตัวอย่าง (sample collector) โดยเริ่มจากของเหลวจะถูกปล่อยในอัตราเร็ว 12 - 15 มิลลิตรต่อนาที เข้าสู่หออบแห้ง จากนั้นของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นละอองด้วยหัวฉีด แล้วถูกทำให้แห้งด้วยลมร้อนจากบัลมร้อน โดยมีการไหลไปทิศทางเดียวกัน (co-current flow) จากนั้นจึงเคลื่อนที่เข้าสู่ไซโคลนและตกลงสู่โถเก็บตัวอย่าง แล้วจึงนำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

นำสารห่อหุ้มมาละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส

เติมเยื่อหุ้มฟักข้าว 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

โฮโมจีไนส์ 11,000 rpm 15 นาที

นำไปผ่านการทำแห้งแบบพ่นฝอย

เก็บตัวอย่างผงเยื่อหุ้มฟักข้าวใส่ถุงอลูมิเนียมฟอยล์

เก็บรักษาที่ -20 องศาเซลเซียส

ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเยื่อหุ้มฟักข้าวเพื่อนำไปเอนแคปซูเลทด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ตารางที่ 3.1 สภาวะในการเอนแคปซูเลทเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวโดยใช้เทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า (องศาเซลเซียส)
มอลโตเดกทรีน	10.0	125
		135
		145
	20.0	125
		135
		145
	30.0	125
		135
		145
เจลาติน	3.0	125
		135
		145
	4.5	125
		135
		145
	6.0	125
		135
		145
เบต้าไซโคลเดกทรีน	3.0	125
		135
		145
	5.0	125
		135
		145
	7.0	125
		135
		145

3.4.2.1 ความชื้น

นำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนกว่าน้ำหนักคงที่ตามวิธีของ AOAC 930.15 (2000)

ปริมาณความชื้นบ่งบอกถึงปริมาณน้ำในอาหาร และสามารถแสดงผลได้ทั้งแบบฐานน้ำหนักเปียก (wet basis, wb) และฐานน้ำหนักแห้ง (dry basis, db) ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักเปียก)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{ปริมาณของแข็ง} + \text{ปริมาณน้ำ}} \times 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{ปริมาณของแข็ง}} \times 100$$

หรือสามารถเปลี่ยนจากปริมาณความชื้นจากน้ำหนักเปียก ไปเป็นน้ำหนักแห้งดังสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{ปริมาณความชื้น (น้ำหนักเปียก)}}{1 - [\text{ปริมาณความชื้น (น้ำหนักเปียก)}/100]}$$

3.4.2.2 คำวอเตอร์แอกติวิตี้

นำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปวัดค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w) ด้วยเครื่องวัดวอเตอร์แอกติวิตี้ (a_w Sprint TH 500, Novasina, Switzerland) โดยทำการวัดค่าที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

3.4.2.3 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด

วิธีการสกัด

การสกัดสารเป็นตามวิธีของ Tran *et al.* (2008) โดยชั่งผงฟักข้าว 0.1 กรัมในบีกเกอร์ จากนั้นนำมาสกัดด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างเฮกเซนและอะซิโตนในอัตราส่วน 3:2 10 มิลลิลิตร แล้วทำการสกัดซ้ำ 4 ครั้งหรือจนกว่าสีจะซีดจาง ด้วยตัวทำละลายผสมครั้ง 5 มิลลิลิตร และกวนด้วย magnetic stirrer นำสารสกัดที่ได้มารวมกันแล้วนำไปล้างด้วยน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร 2 ครั้งในกรวยแยก (separating funnel) จากนั้นนำสารละลายใส่ส่วนบนมาวิเคราะห์หาค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด โดยการสกัดต้องทำในสภาวะที่มีแสงน้อยและควรทำการวิเคราะห์ภายในวันเดียวกัน

การวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด

นำสารสกัดแคโรทีนอยด์จากผงเยื่อหุ้มฟักข้าว ไปวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 473 นาโนเมตร และแสดงค่าเป็นแสดงผลเป็น β -carotene equivalent (mg/g powder)

3.4.2.3 ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน

การคำนวณประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน (Encapsulation efficiency, %) ตามวิธีของ Shu *et al.* (2006) ซึ่งนำอัตราส่วนระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดก่อนนำไปทำแห้งกับปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในผงเยื่อหุ้มฟักข้าวที่ได้มาคำนวณเป็นร้อยละของประสิทธิภาพการเอนแคปซูลชัน ดังสมการ

$$\text{Encapsulation efficiency (EE)} = \text{TC}_B \times 100 / \text{TC}_A$$

โดย TC_B , TC_A หมายถึงปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ก่อนและหลัง การเอนแคปซูลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2.4 ผลผลิตเอนแคปซูลชัน

ผลผลิตเอนแคปซูลชัน (Encapsulation yield,%) สามารถคำนวณตามวิธีของ Che Man (1999) ได้ โดยใช้ปริมาณของแข็งทั้งหมดก่อนและหลังการเอนแคปซูลชัน ดังสมการ

$$\text{Encapsulation yield (EY)} = \text{TS}_B \times 100 / \text{TS}_A$$

โดย TS_B , TS_A หมายถึงปริมาณของแข็งทั้งหมด ก่อนและหลัง การเอนแคปซูลชัน

3.4.2.5 ปริมาณเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนด้วยวิธี High performance liquid chromatography (HPLC) ตามวิธีการของ Aruna & Baskaran (2010)

ชั่งตัวอย่างผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 2 กรัม มาผสมกับ n-butanol 2 มิลลิลิตร ในขวดสีชา ขนาด 5 มิลลิลิตร แล้วนำไปโซนิคเท (sonicate) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไประเหยตัวทำละลายออก ด้วยการพ่นก๊าซไนโตรเจน 15 นาที ละลายส่วนที่เหลือด้วยไดคลอโรมีเทนผสมกับเมทานอล ในอัตราส่วน 6:4 จำนวน 2 มิลลิลิตร แล้วกรองผ่านเมมเบรน 0.2 ไมโครเมตร (Phenex, USA) และถ่ายลงในขวด vial สีชา ขนาด 2 มิลลิลิตร เพื่อนำไปวิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง High performance liquid chromatography

สถานะของเครื่อง ใช้คอลัมน์ Inertsil ODS-3 reverse phase C18 150 × 4.6 mm ID และเครื่องตรวจวัดสัญญาณแบบ Photodiode array ที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร โดยมีเฟสเคลื่อนที่ คือ dichloromethane: acetonitrile (6:4, v/v) เป็น solvent A และ methanol เป็น solvent B อัตราเร็วของเฟสเคลื่อนที่เป็น 0.9 High performance liquid chromatography / นาที ทำการฉีดตัวอย่าง 30 ไมโครลิตร เข้าไปยังคอลัมน์ โดยใช้สถานะเฟสเคลื่อนที่ (Nhung *et al.* 2010) ดังแสดงตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนเฟสเคลื่อนที่ที่ใช้แต่ละช่วงเวลา

เวลา (นาที)	อัตราส่วนของเฟสเคลื่อนที่ (เปอร์เซ็นต์)	
	solvent A	solvent B
0-5	70	30
5-10	80	20
10-15	70	30

วิเคราะห์ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนโดยการเปรียบเทียบ retention time ของพีค ตัวอย่างกับสารมาตรฐานผสมไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน จากนั้นคำนวณหาปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน จาก calibration curve ซึ่งได้จากการวิเคราะห์สารมาตรฐาน โดยใช้สารละลายมาตรฐาน 5 ความเข้มข้น

การทดลองทุกการทดลองจะทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคัดเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมของแต่ละสารที่ใช้ห่อหุ้มจำนวน 1 สภาวะเพื่อใช้ในการศึกษาผลความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการทดลองต่อไป

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 ศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน

นำเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในอัตราส่วนที่ต่างๆ 3 ระดับ ผสมกับสารที่ใช้ห่อหุ้มตามแต่ละสภาวะที่คัดเลือกจากข้อที่ 3.4.2 ดังตารางที่ 3.3 จากนั้นจึงนำไปทำแห้งแบบพ่นฝอยตามข้อ 3.4.2

ตารางที่ 3.3 ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มฟักข้าวในการทำแห้งแบบพ่นฝอย

สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว (เปอร์เซ็นต์)
มอลโตเดกทรีน	12.5
	16.7
	25.0
เจลาติน	11.1
	20.0
	33.3
เบต้าไซโคลเดกทรีน	11.1
	20.0
	33.3

นำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวไปวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพตามวิธีการวิเคราะห์ในข้อ 3.4.2.1-3.4.2.4 และวิเคราะห์ทางเคมีเพิ่มเติมดังนี้

3.4.3.1 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำลายอนุมูลอิสระด้วยวิธี DPPH radical scavenging activity

ตามวิธีของ Lee et al. (2003) ละลายตัวอย่าง 0.1 กรัม ในน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร เพื่อทำลายโครงสร้างแคปซูล แล้วเติมอะซีโตน 10 มลจากนั้นเติมสารสกัด 1 มิลลิลิตรลงในสารละลาย DPPH ในอะซีโตน 0.004 เปอร์เซ็นต์ 3 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (\% inhibition)} = [1 - A_{\text{extract}}/A_{\text{blank}}] \times 100$$

โดย A_{extract} และ A_{blank} หมายถึง ค่าการดูดกลืนแสงของสารสกัดและค่าการดูดกลืนแสงของ blank ตามลำดับ

3.4.3.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี β -carotene bleaching

ตามวิธีของ Nsimba et al. (2008) เตรียมอิมัลชันของเบต้าแคโรทีน โดยการเติมสารละลายเบต้าแคโรทีนในคลอโรฟอร์ม 0.2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมที่มีกรดลิโนเลอิก 20 ไมโครลิตร และ Tween 20 ในปริมาณ 200 ไมโครลิตร จากนั้นระเหยตัวทำละลายออก ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตรทันที นำอิมัลชันของเบต้าแคโรทีน 5 มิลลิลิตรเติมลงในหลอดทดลองที่มีสารสกัดตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร นำสารผสมไปเขย่าและตั้งทิ้งไว้ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (\% inhibition)} = [1 - (A_0 - A_t) / (A_0^0 - A_t^0)] \times 100$$

โดย A_0 และ A_0^0 เป็นค่าการดูดกลืนแสงเริ่มต้นของตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมตามลำดับ
 A_t และ A_t^0 เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างและตัวอย่างควบคุมหลังสิ้นสุดการบ่ม

3.4.3.3 การวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS

ตามวิธีของ Ruberto & Baratta (2000) เติม Egg homogenate 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร และสารสกัดตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น แล้วเติมเฟอร์ริซัลเฟต 0.7 โมลาร์ 0.05 มิลลิลิตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 30 นาที หลังจากนั้นจึงเติมกรดอะซิติก 20 เปอร์เซ็นต์ (พีเอช 3.5) 1.5 มิลลิลิตร และ TBA 0.8 เปอร์เซ็นต์ ใน sodium dodecyl sulphate 1.1 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 1.5 มิลลิลิตร และ 20 เปอร์เซ็นต์ TCA 0.05 มิลลิลิตร นำสารไปผสมด้วยเครื่อง vortex และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงเติม n-butanol 5 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง และนำไปปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำสารละลายส่วนบนไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 532 นาโนเมตร คำนวณค่าร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ ดังสมการ

$$\text{ร้อยละการยับยั้งอนุมูลอิสระ (\% inhibition)} = (1 - A_T/A_C) \times 100$$

A_T เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง

A_C เป็นค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างควบคุม

การทดลองทุกการทดลองจะทำการทดลองอย่างน้อย 2 ซ้ำ แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นคัดเลือกสภาวะการผลิตที่เหมาะสมจำนวน 1 สภาวะเพื่อใช้ในการศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในการทดลองถัดไป

3.4.3.4 รูปร่างของแคปซูลด้วยวิธี Scanning electron microscopy (SEM)

นำตัวอย่างผงฟักข้าวมาติดบน stub ด้วยเทปคาร์บอน โดยให้อนุภาคเรียงตัวในลักษณะชั้นเดียวไม่เกาะกลุ่มกัน จากนั้นนำไปฉายผิวด้วยทองให้มีความหนา 10- 20 นาโนเมตรให้ทั่วถึงตัวอย่าง เพื่อเพิ่มการนำไฟฟ้าของตัวอย่าง ก่อนนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ Hitachi SEM S-2500

3.4.4 ศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ

นำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูล มาศึกษาความคงตัวที่สภาวะการเก็บรักษาในภาชนะบรรจุ 2 แบบ ได้แก่ บรรจุแบบสุญญากาศและบรรจุแบบอัดก๊าซไนโตรเจน จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างที่ระยะเวลาต่างๆ ตามความเหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแต่ละอุณหภูมิเป็นเวลา 7 ระดับ ไปวิเคราะห์ทางกายภาพและเคมีดังข้อ 3.4.2.1-3.4.2.4 และวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ตามวิธีในข้อ 3.4.3.1-3.4.3.3 และวิเคราะห์ค่าสี ดังนี้

3.4.4.1 การวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter lab ในระบบ CIE Lab

ผงเยื่อหุ้มฟักข้าวมาวัดค่าสีด้วยเครื่อง Hunter Lab UltraScan ที่คาลิเบรทด้วยแผ่นกระเบื้องสีขาวแสดงผลเป็นค่าสี Hunter L^* , a^* และ b^* ขณะที่ L^* เป็นค่าความสว่าง a^* แสดงถึงความเขียวและแดง และค่า b^* แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลืองและน้ำเงิน โดยแต่ละตัวอย่างจะมีการวัดซ้ำ 10 จุด แล้วคำนวณค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total color different, ΔE) จากสมการ

$$\Delta E = \sqrt{(L_0^* - L^*)^2 + (a_0^* - a^*)^2 + (b_0^* - b^*)^2}$$

ขณะที่ L_0^* a_0^* b_0^* เป็นค่าสีของตัวอย่างที่เวลา 0 วัน และ
 L^* a^* b^* เป็นค่าสีของตัวอย่างที่เวลาใดๆ

3.4.4.2 การคำนวณค่าจลศาสตร์ของพารามิเตอร์

การสลายตัวของแคโรทีนอยด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผงเยื่อหุ้มฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา จะถูกนำมาคำนวณเป็นอัตราการสลายตัว โดยใช้สมการของปฏิกิริยาอันดับ 1 (first-order kinetic model) ดังนี้

$$\ln C = \ln C_0 - k(t)$$

โดยที่ C เป็นความเข้มข้นของสาร ณ เวลาใดๆ
 C_0 เป็นความเข้มข้นของสาร ณ วันที่ 0 ของการเก็บรักษา
 k เป็นอัตราการสลายตัวซึ่งเป็นค่าคงที่ (วัน^{-1}) ที่ได้จากความชันของกราฟที่พลอตระหว่าง $\ln C/C_0$ ต่อเวลา
 t เป็นระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน)

การคำนวณค่าครึ่งชีวิต (half-life) แสดงดังสมการ

$$t_{1/2} = 0.693/k$$

โดยที่ $t_{1/2}$ เป็นค่าครึ่งชีวิตของการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ (วัน)
 k เป็นอัตราการสลายตัวซึ่งเป็นค่าคงที่ (วัน^{-1})

ส่วนค่า Q_{10} (temperature quotient) ใช้ในการแสดงผลของอุณหภูมิที่ต่างกันทุกๆ 10 องศาเซลเซียสต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา ดังสมการ

$$Q_{10} = k_{T+10}/k_T$$

โดย k_T เป็นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยา
 k_{T+10} เป็นค่าคงที่อัตราการเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิต่างกัน 10 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารที่ใส่ห่อหุ้มในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน

การศึกษาผลของสารห่อหุ้มที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ที่ความเข้มข้นของสารห่อหุ้มแต่ละชนิด 3 ระดับ ได้แก่ มอลโตเดกทรีน (10.0, 20.0 และ 30.0 เปอร์เซ็นต์) เจลาติน (3.0, 4.5 และ 6.0 เปอร์เซ็นต์) และเบต้า-ไซโคลเดกทรีน (3.0, 5.0 และ 7.0 เปอร์เซ็นต์) โดยใช้อุณหภูมิเข้าของเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย 125, 135 และ 145 องศาเซลเซียส ต่อปริมาณความชื้นของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ

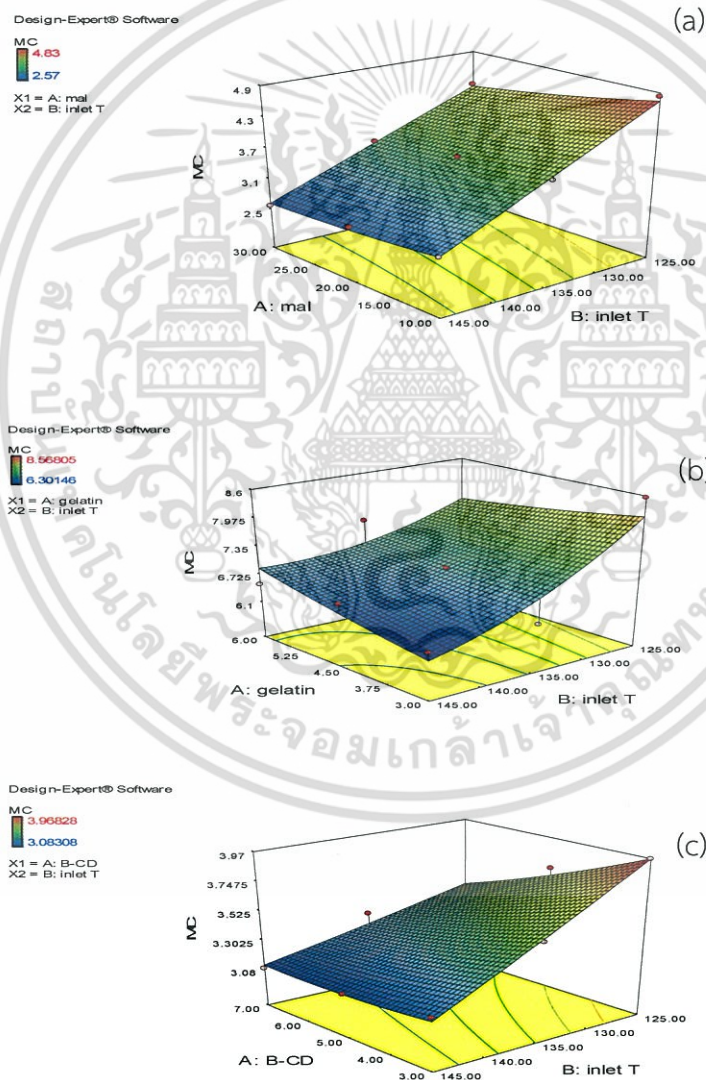
สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิลมร้อนเข้า (องศาเซลเซียส)		
		125	135	145
มอลโตเดกทรีน	10.0	3.65±1.17 ^{b,A}	3.34±0.96 ^{ab,A}	3.03±0.65 ^{a,AB}
	20.0	3.57±0.85 ^{b,A}	3.26±0.83 ^{ab,A}	2.67±0.52 ^{a,A}
	30.0	3.49±0.94 ^{b,A}	2.98±0.82 ^{a,A}	2.51±0.67 ^{a,A}
เจลาติน	3.0	8.57±0.32 ^{b,B}	6.34±0.46 ^{a,B}	6.30±0.05 ^{a,B}
	4.5	7.61±0.28 ^{b,B}	6.97±0.13 ^{ab,B}	6.67±0.12 ^{a,B}
	6.0	7.53±0.14 ^{b,B}	6.98±0.12 ^{ab,B}	6.51±0.17 ^{a,B}
เบต้าไซโคลเดกทรีน	3.0	3.96±0.25 ^{b,A}	3.53±0.18 ^{ab,A}	3.17±0.14 ^{a,AB}
	5.0	3.73±0.20 ^{b,A}	3.33±0.07 ^{a,A}	3.10±0.09 ^{a,AB}
	7.0	3.39±0.12 ^{ab,A}	3.35±0.09 ^{a,A}	3.18±0.22 ^{a,AB}

ตัวอักษร^{a,b} ในแนวนอนที่ต่างกัน และ ตัวอักษร^{A,B} ในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

จากตารางที่ 4.1 การเพิ่มปริมาณสารห่อหุ้มและอุณหภูมิลมร้อนเข้าส่งผลต่อปริมาณความชื้นของตัวอย่าง ($p < 0.05$) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนเข้ายังส่งผลให้ตัวอย่างมีปริมาณความชื้นลดลง ($p < 0.05$) โดยที่อุณหภูมิลมร้อนเข้าหนึ่งๆ ผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ห่อหุ้มด้วยเจลาตินทุกความเข้มข้นจะมีปริมาณความชื้นสูงกว่าสภาวะที่ใช้มอลโตเดกทรีนและเบต้าไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม โดยทั่วไปในการทำแห้งแบบพ่นฝอยนั้น การเพิ่มอุณหภูมิลมร้อนเข้าย่อมส่งผลต่อการสูญเสียปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ผงที่ได้ เนื่องจากอนุภาคของตัวอย่างมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงงานไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำออกไปได้รวดเร็วยิ่งขึ้นด้วย สอดคล้องกับงานวิจัยของ Goula *et al.* (2004); Chegini & Ghobadian (2005); Rodríguez-Hernández *et al.* (2005); Ersus & Yurdagel (2007) ที่รายงานการลดลงของปริมาณความชื้นตามอุณหภูมิร้อนขาเข้าที่เพิ่มขึ้นในมะเขือเทศผง น้ำส้มผง น้ำลูกแพร์ผง และน้ำแครอทตำผง ตามลำดับ นอกจากนี้มีรายงานว่าปริมาณความชื้นที่ลดลงของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว เกิดจากอิทธิพลของการเพิ่มความเข้มข้นของสารห่อหุ้มที่ใช้ โดยเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของมอลโตเดกทรีนจาก 10 เป็น 15 เปอร์เซ็นต์ ในการเอนแคปซูเลชันน้ำสับประดง มีผลให้ปริมาณความชื้นของตัวอย่างลดลง (Abadio *et al.*, 2004) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารห่อหุ้ม เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็ง และลดปริมาณน้ำอิสระที่ระเหยได้ในตัวอย่างให้น้อยลง

เมื่อพลอตพื้นที่ผิวตอบสนอง (response surface) ของปริมาณความชื้นของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่าง แสดงดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 พื้นที่ผิวตอบสนองของปริมาณความชื้นของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ : มอลโตเดกทรีน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิความร้อนขาเข้ายังส่งผลให้ตัวอย่างที่ห่อหุ้มทุกชนิดมีปริมาณความชื้นลดลง (ภาพที่ 4.1) ส่วนการเพิ่มปริมาณสารห่อหุ้มของมอลโตเดกทรินและเบต้า-ไซโคลเดกทรินนั้น มีผลให้ความชื้นลดลงเช่นกัน แต่การใช้สารห่อหุ้มด้วยเจลาติน ที่กลับพบว่าการเพิ่มความเข้มข้น ทำให้ปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาพื้นที่ผิวตอบสนองพบว่า อุณหภูมิความร้อนขาเข้ามีอิทธิพลต่อเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นมากกว่าปริมาณสารห่อหุ้ม

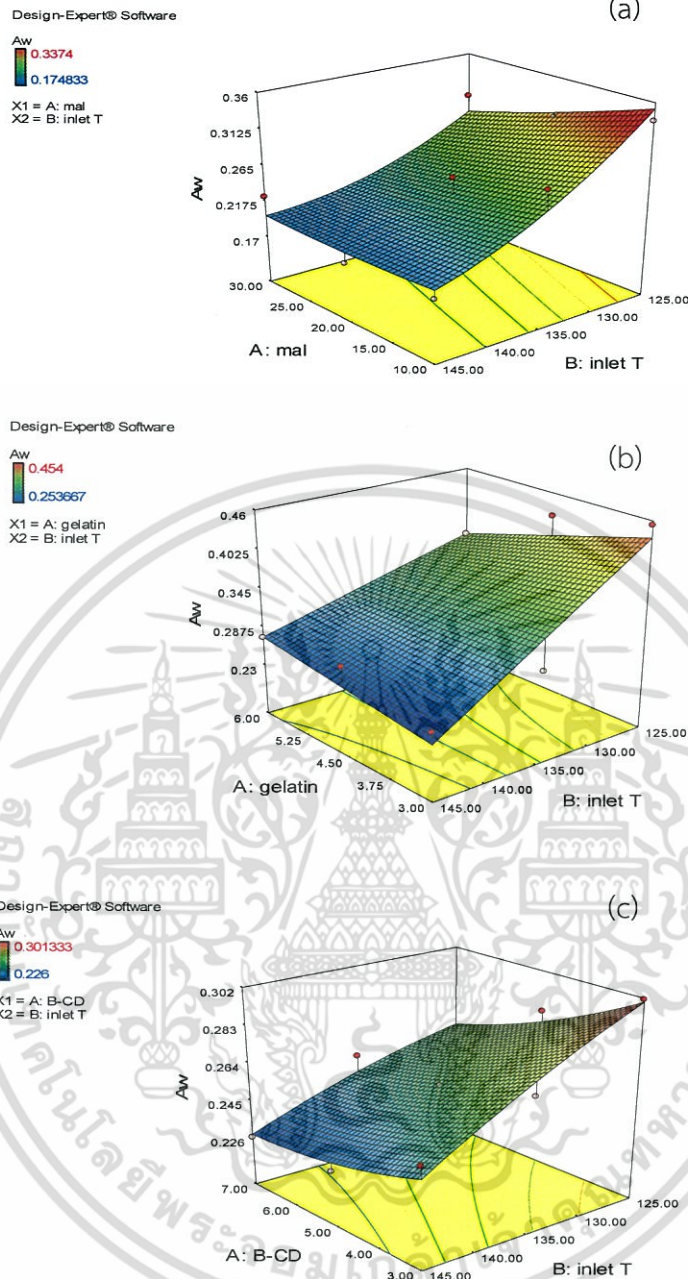
ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน อยู่ในช่วง 0.221-0.454 และการเพิ่มระดับความเข้มข้นของสารห่อหุ้มส่งผลให้ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้มีแนวโน้มลดลง ($p < 0.05$) (ตารางที่ 4.2) โดยที่อุณหภูมิเดียวกัน ผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ห่อหุ้มด้วยเจลาตินทุกความเข้มข้น มีค่าวอเตอร์แอกติวิตี้สูงกว่าสภาวะที่ใช้มอลโตเดกทรินและเบต้าไซโคลเดกทรินเป็นสารห่อหุ้ม สอดคล้องกับรายงานของ Quek *et al.* (2007) ที่กล่าวว่าค่าวอเตอร์แอกติวิตี้เป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของสารห่อหุ้มมากกว่าอิทธิพลของอุณหภูมิความร้อนขาเข้า

ตารางที่ 4.2 ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ

สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	ค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่อุณหภูมิความร้อนขาเข้า		
		125 (°C)	135 (°C)	145 (°C)
มอลโตเดกทริน	10.0	0.290±0.008 ^{b,A}	0.270±0.006 ^{ab,A}	0.244±0.003 ^{a,AB}
	20.0	0.285±0.005 ^{b,A}	0.269±0.004 ^{ab,A}	0.237±0.003 ^{a,A}
	30.0	0.278±0.007 ^{b,A}	0.258±0.005 ^{ab,A}	0.228±0.005 ^{a,A}
เจลาติน	3.0	0.454±0.002 ^{b,B}	0.397±0.005 ^{b,B}	0.254±0.003 ^{a,AB}
	4.5	0.426±0.002 ^{b,B}	0.391±0.004 ^{a,B}	0.285±0.003 ^{a,B}
	6.0	0.357±0.004 ^{b,AB}	0.385±0.005 ^{ab,B}	0.272±0.005 ^{a,B}
เบต้าไซโคลเดกทริน	3.0	0.301±0.005 ^{b,A}	0.268±0.004 ^{ab,A}	0.228±0.006 ^{a,A}
	5.0	0.282±0.006 ^{b,A}	0.256±0.002 ^{ab,A}	0.221±0.004 ^{a,A}
	7.0	0.256±0.002 ^{ab,A}	0.255±0.007 ^{ab,A}	0.226±0.006 ^{a,A}

ตัวอักษร^{a,b} ในแนวนอนที่ต่างกัน และ ตัวอักษร^{A,B} ในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

เมื่อพลอตพื้นที่ผิวตอบสนองของวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ แสดงดังภาพที่ 4.2 พบว่า พลอตพื้นที่ผิวตอบสนองของวอเตอร์แอกติวิตี้และความชื้นมีความคล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 4.2 พื้นผิวตอบสนองของค่าอวอเตอร์แอคทีวี่ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ : มอลโตเดกทริน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

ผลผลิตของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชันในการทดลองนี้ มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 57.50 – 91.37 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 4.3) และการใช้เจลาตินเป็นสารห่อหุ้ม จะให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันสูงที่สุดที่อุณหภูมิร้อนชาเข้า 125 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบ แนวโน้มการลดลงของผลผลิตเอนแคปซูเลชันเป็นผลมาจากอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นของสารห่อหุ้มและอุณหภูมิร้อนชาเข้าที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการระเหยของน้ำระหว่างการทำให้แห้ง และอัตราการสร้างฟิล์มห่อหุ้มสารแคโรทีนอยด์ไม่สมดุลกัน (Shu *et al.*, 2006) จึงไม่สามารถห่อหุ้มแคโรทีนอยด์ทั้งหมดได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

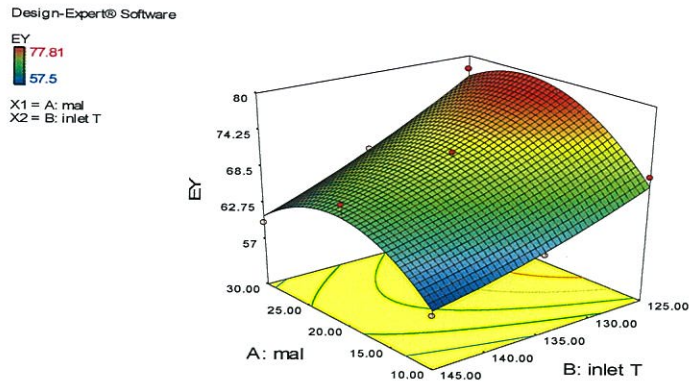
ได้ และมีส่วนทำให้แคโรทีนอยด์บางส่วนสลายตัวจากการสัมผัสความร้อนโดยตรง จึงอาจเป็นสาเหตุให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันลดต่ำลง

ตารางที่ 4.3 ผลผลิตเอนแคปซูเลชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ

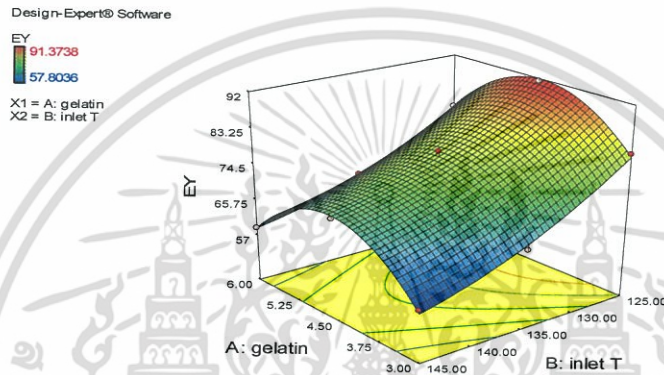
สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์)	ผลผลิตเอนแคปซูเลชัน (เปอร์เซ็นต์) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูที่อุณหภูมิรมร้อนขาเข้า		
		125 (°C)	135 (°C)	145 (°C)
มอลโตเดกทรีน	10.0	69.23±2.64 ^{ab,A}	61.59±1.78 ^{a,A}	57.50±1.73 ^{a,A}
	20.0	76.20±1.01 ^{b,A}	67.04±1.39 ^{a,A}	67.93±2.31 ^a
	30.0	77.81±0.99 ^{b,A}	70.82±0.90 ^{a,AB}	68.76±1.43 ^{a,AB}
เจลาติน	3.0	90.57±2.63 ^{b,B}	64.31±2.24 ^{a,A}	57.80±0.27 ^{a,A}
	4.5	91.37±0.50 ^{b,B}	73.58±1.11 ^{a,AB}	69.70±2.42 ^{a,AB}
	6.0	78.81±3.41 ^{b,A}	66.30±2.69 ^{ab,A}	58.81±2.08 ^{a,A}
เบต้า-ไซโคลเดกทรีน	3.0	74.10±1.21 ^{a,A}	76.96±2.00 ^{b,B}	74.20±1.72 ^{a,B}
	5.0 ^{ns}	72.48±0.44 ^A	73.55±0.35 ^{AB}	72.30±0.76 ^B
	7.0 ^{ns}	71.06±1.12 ^A	72.41±1.21 ^{AB}	71.15±1.26 ^B

ตัวอักษร^{a,b} ในแนวนอนที่ต่างกัน และ ตัวอักษร^{A,B} ในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)
^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)

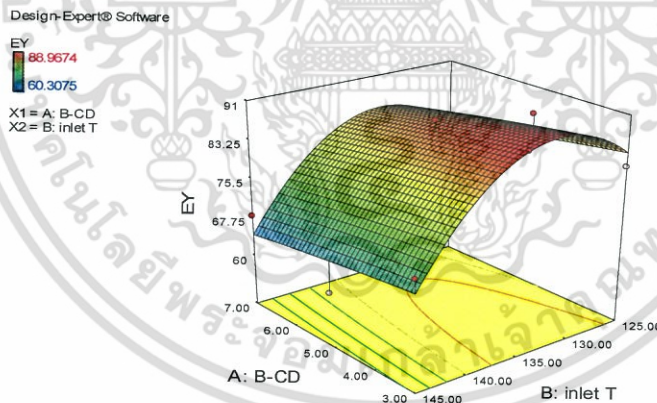
เมื่อพลอตพื้นที่ผิวตอบสนองของผลผลิตเอนแคปซูเลชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ (ภาพที่ 4.3) พบว่า กราฟมีลักษณะเป็นเนินโค้งที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกทรีนและเจลาตินที่ปานกลางในการศึกษานี้ ให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันสูงที่สุด และการลดอุณหภูมิรมร้อนขาเข้าทำให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันสูงกว่า แต่เบต้า-ไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้มนั้นให้ผลที่แตกต่างกัน โดยการลดความเข้มข้นของเบต้า-ไซโคลเดกทรีนมีผลทำให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันสูงกว่า และการใช้อุณหภูมิปานกลางในการศึกษานี้ ให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันสูงที่สุด



a)



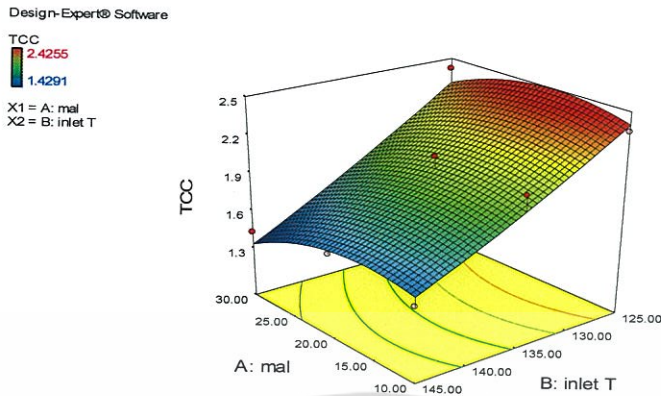
b)



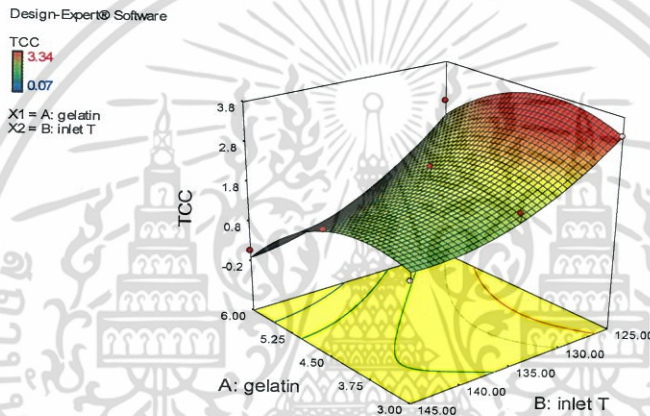
c)

ภาพที่ 4.3 พื้นผิวตอบสนองของผลผลิตเอนแคปซูเลชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ: มอลโตเดกทรีน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

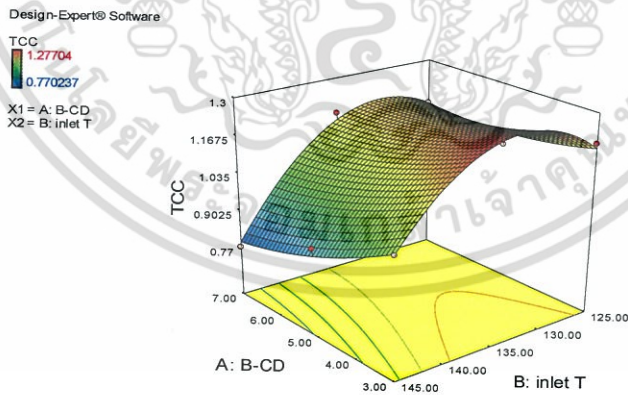
ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่สภาวะการเอนแคปซูเลชันต่างๆ ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 4.4 และ 4.5 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นเช่นเดียวกับผลผลิตเอนแคปซูเลชัน ที่พบว่า ความเข้มข้นของมอลโตเดกทรีนและเจลาตินที่ปานกลางในการศึกษานี้ ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันสูงสุด และการลดอุณหภูมิลมร้อนเข้าต่ำที่สุดทำให้ ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันสูงกว่าการเพิ่มอุณหภูมิในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว เช่นเดียวกัน การใช้เบต้า-ไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a)



b)

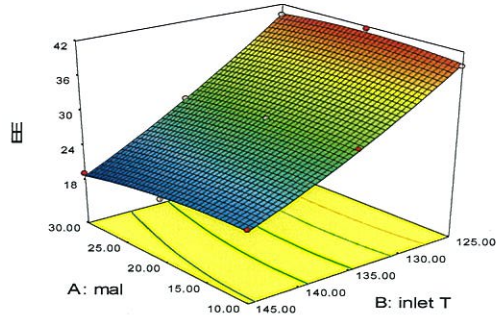


c)

ภาพที่ 4.4 พื้นผิวตอบสนองของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด (Total Carotenoid content, TCC) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลแตกต่างกัน : มอลโตเดกทรีน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

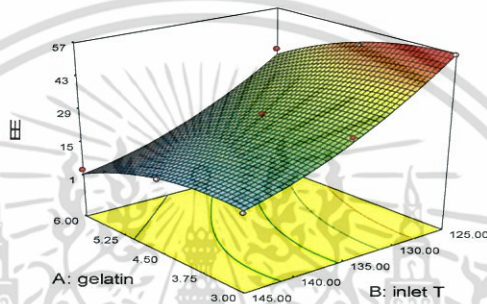
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design-Expert® Software

EE
41.58
19.09X1 = A: mal
X2 = B: inlet T

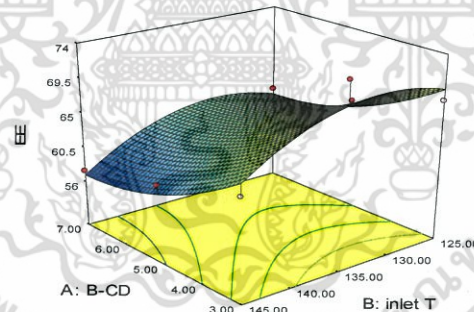
a)

Design-Expert® Software

EE
56.3086
3.16685X1 = A: gelatin
X2 = B: inlet T

b)

Design-Expert® Software

EE
73.698
57.4227X1 = A: B-CD
X2 = B: inlet T

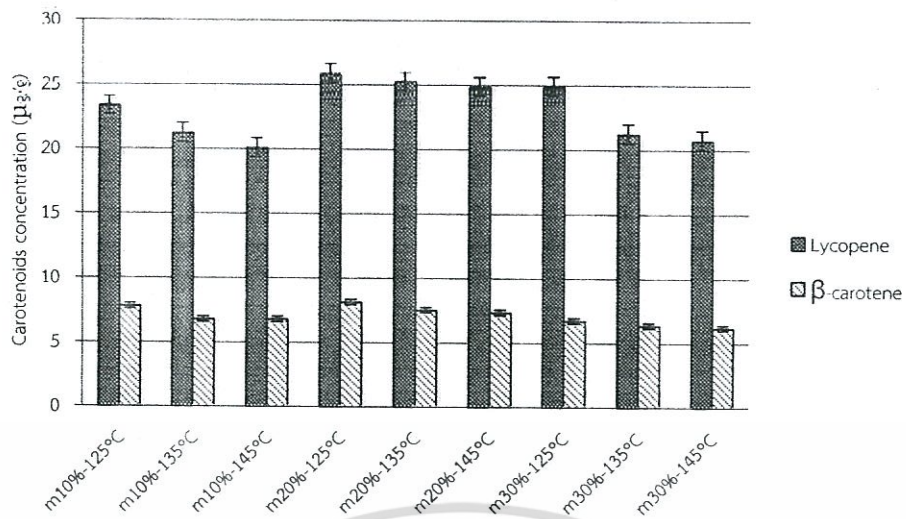
c)

ภาพที่ 4.5 พื้นผิวตอบสนองของประสิทธิภาพเอนแคปซูลชัน (Encapsulation Efficiency, EE) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลแตกต่างกัน : มอลโตเดกทริน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

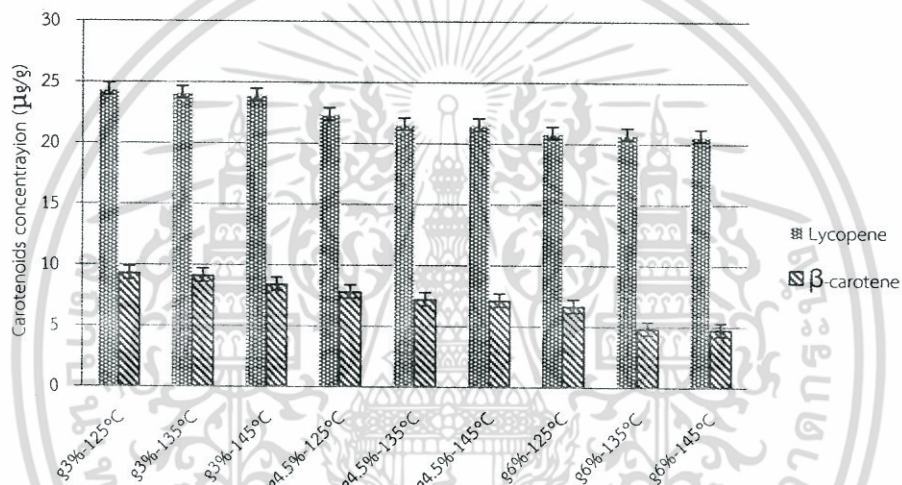
นั้นให้ผลสอดคล้องกับผลผลิตเอนแคปซูลชัน โดยการลดความเข้มข้นของเบต้า-ไซโคลเดกทรินมีผลทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและประสิทธิภาพเอนแคปซูลชันเพิ่มขึ้น และการใช้อุณหภูมิหม้อนึ่งขาที่ระดับปานกลางให้ผลผลิตเอนแคปซูลชันปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและประสิทธิภาพเอนแคปซูลชันสูงกว่าการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากที่ระดับความเข้มข้นนี้ มีปริมาณของแข็งเริ่มต้นที่เหมาะสมและเพียงพอต่อการกักเก็บสารแคโรทีนอยด์ได้ดี (Goula *et al.*, 2005) นอกจากนี้อุณหภูมิหม้อนึ่งขาเข้ายังส่งผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในทุกตัวอย่าง โดยสังเกตได้จากผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดเมื่ออุณหภูมิหม้อนึ่งขาเข้าเพิ่มสูงขึ้นการใช้อุณหภูมิหม้อนึ่งขาเข้าที่พอเหมาะ ส่งผลให้เกิดการสร้างชั้นฟิล์มที่พื้นผิวของละอองฝอยอย่างรวดเร็ว และสามารถกักปริมาณแคโรทีนอยด์ไว้ได้ทั้งหมด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่น้อยดีไว้ในแคปซูลได้ดี แคโรทีนอยด์จึงไม่เกิดการสลายตัวในขณะที่หากใช้อุณหภูมิความร้อนสูงเกินไป ทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดมากขึ้น เนื่องมาจากการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ด้วยความร้อนและการเกิดออกซิเดชัน โดย Zakarian & King (1982) กล่าวว่าอุณหภูมิความร้อนสูงเกินไป ทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่เกินพอดี และเป็นสาเหตุของการเกิดรอยแตกที่พื้นผิวของไมโครแคปซูล จึงไม่สามารถกักเก็บสารแคโรทีนอยด์เอาไว้ในแคปซูลได้ และทำให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ตามมา เช่นเดียวกับ Shu *et al.* (2006) ที่กล่าวว่าอุณหภูมิความร้อนสูงเกินไปทำลายสมดุลระหว่างอัตราการระเหยของน้ำ และอัตราการสร้างฟิล์มที่พื้นผิวของแคปซูล ซึ่งนำไปสู่การแตกบริเวณเปลือกแคปซูล ทำให้ไม่สามารถกักเก็บแคโรทีนอยด์เอาไว้ได้ ประสิทธิภาพของแคปซูลชั้นจึงลดลง ซึ่งสอดคล้องกับ Goula & Adamopoulos (2008) ที่รายงานการสลายตัวของเบต้าแคโรทีนและไลโคพีนในมะเขือเทศ และ Quek *et al.* (2007) ที่รายงานการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ในน้ำแดงโคมเมื่อใช้อุณหภูมิความร้อนสูงเกินกว่า 145 องศาเซลเซียส

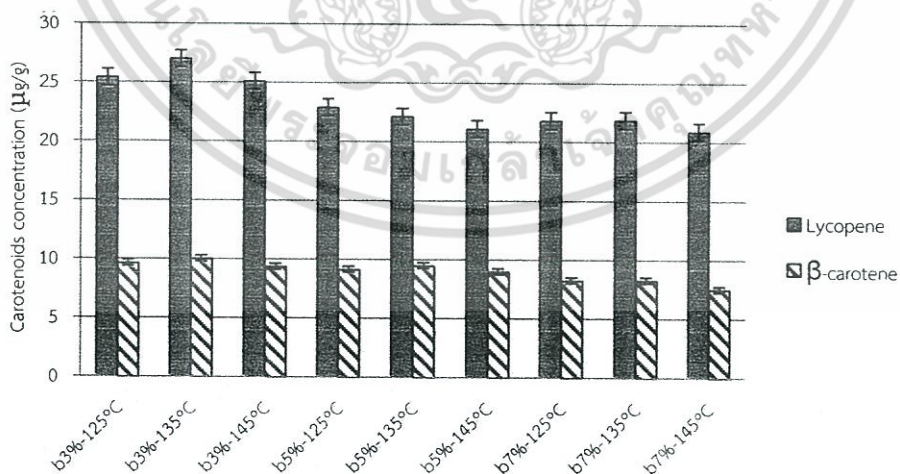
ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนได้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูลในสภาวะต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยพบว่าผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีปริมาณไลโคพีนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 21.61-26.92 ไมโครกรัมต่อกรัม และปริมาณเบต้าแคโรทีนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 4.70-9.96 ไมโครกรัมต่อกรัม โดยการใช้มอลโตเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้มผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว พบว่า ที่ความเข้มข้นมอลโตเดกทรีน 20 เปอร์เซ็นต์และอุณหภูมิความร้อนสูง 125 องศาเซลเซียส มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในผงเยื่อหุ้มฟักข้าวสูงสุด คือ 25.82 และ 8.07 ไมโครกรัมต่อกรัม ส่วนผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เจลาตินเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูงสุด 24.32 และ 9.24 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเจลาติน 3.0 เปอร์เซ็นต์และอุณหภูมิความร้อนสูง 125 องศาเซลเซียส และผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เบต้า-ไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนสูงสุด 26.92 และ 9.96 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเบต้าไซโคลเดกทรีน 3.0 เปอร์เซ็นต์และอุณหภูมิความร้อนสูง 135 องศาเซลเซียส ซึ่ง Lee & Chen (2002) ได้กล่าวไว้ว่า ไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนเมื่อสัมผัสกับความร้อนที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (isomerization) และออกซิเดชันทำให้ไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนเกิดการสลายตัว



a)



b)

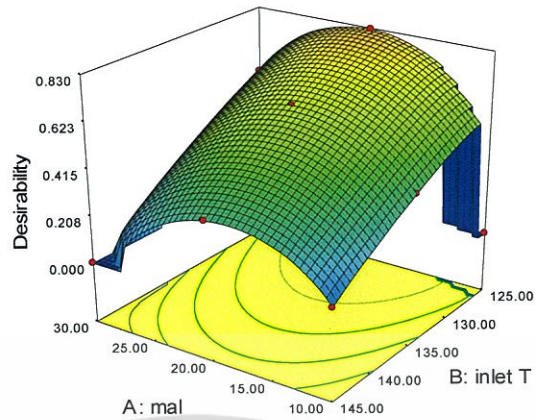


c)

ภาพที่ 4.6 ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มฟักข้าวในสภาวะการเอนแคปซูลแตกต่างกัน: มอลโตเดกทริน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

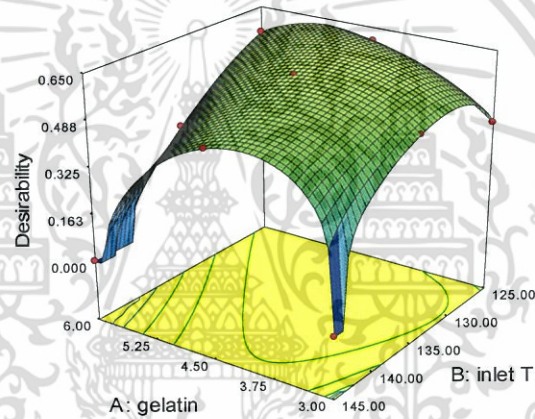
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design-Expert® Software

Desirability
1
0X1 = A: mal
X2 = B: inlet T

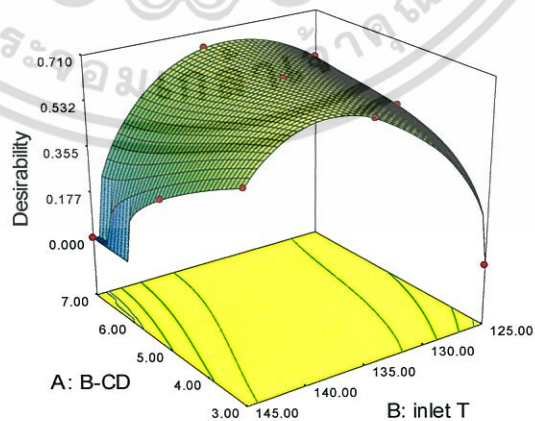
a)

Design-Expert® Software

Desirability
1
0X1 = A: gelatin
X2 = B: inlet T

b)

Design-Expert® Software

Desirability
1
0X1 = A: B-CD
X2 = B: inlet T

c)

ภาพที่ 4.7 พื้นผิวตอบสนองของสถานะในการเอนแคปซูเลทเยื่อหุ้มฟักข้าว: มอลโตเดกทรีน (a) เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความเข้มข้นและอุณหภูมิหมักร้อนขาเข้ามีผลต่อปัจจัยต่างๆ ดังที่กล่าวข้างต้น และเมื่อพล็อตพื้นผิวตอบสนองของตัวแปรที่ศึกษา เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลทเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารห่อหุ้มแต่ละชนิด (ภาพที่ 4.7) พบว่า ความเข้มข้นและสภาวะที่เหมาะสมของตัวห่อหุ้มทั้ง 3 สำหรับการศึกษารุ่นต่อไป เป็นดังนี้

- มอลโตเดกทรีน 20 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า 125 องศาเซลเซียส
- เจลาติน 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า 125 องศาเซลเซียส
- เบต้าไซโคลเดกทรีน 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิหมักร้อนขาเข้า 135 องศาเซลเซียส

4.2 ผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน

การทดลองนี้เป็นการศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน โดยกำหนดอัตราส่วนของสารห่อหุ้มต่อเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางเคมีกายภาพของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว

ตัวอย่างที่	สารห่อหุ้ม	ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว (เปอร์เซ็นต์)	ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	วอเตอร์แอกติวิตี้	ผลผลิตเอนแคปซูเลชัน (เปอร์เซ็นต์)
A1	มอลโตเดกทรีน	12.5	4.42±0.84 ^b	0.312±0.011 ^{ab}	61.72±2.16 ^{ab}
A2		16.7	3.92±1.12 ^a	0.297±0.013 ^{ab}	65.33±1.63 ^b
A3		25.0	3.24±1.13 ^a	0.269±0.011 ^a	69.44±1.48 ^b
B1	เจลาติน	11.1	5.98±1.46 ^c	0.402±0.014 ^c	51.69±3.52 ^a
B2		20.0	5.53±1.08 ^c	0.343±0.011 ^b	53.30±2.59 ^a
B3		33.3	4.80±1.54 ^{bc}	0.303±0.006 ^{ab}	54.19±1.07 ^a
C1	เบต้าไซโคลเดกทรีน	11.1	5.96±1.29 ^c	0.397±0.007 ^c	68.28±0.17 ^b
C2		20.0	5.78±1.66 ^c	0.356±0.007 ^b	78.38±1.87 ^c
C3		33.3	5.10±1.02 ^{bc}	0.310±0.016 ^{ab}	75.30±2.38 ^c

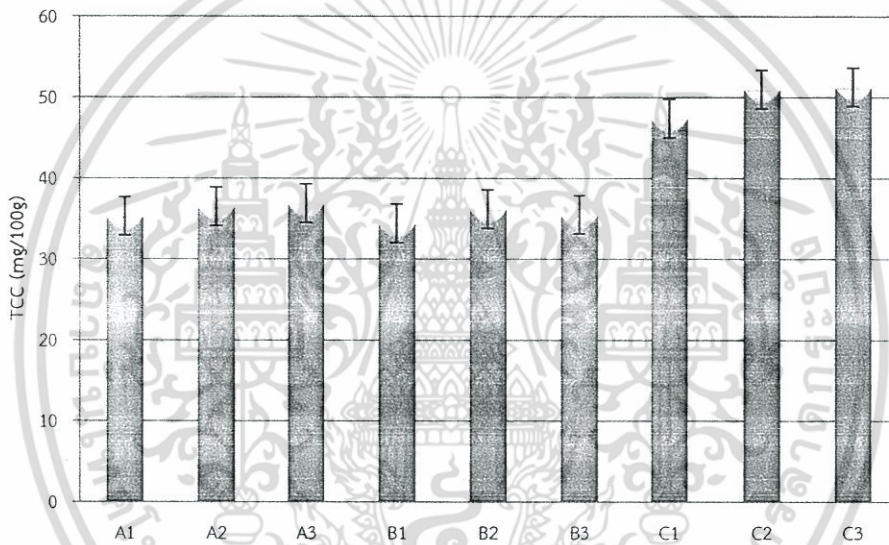
หมายเหตุ ตัวอักษร^{a,b,c} ในแนวตั้งที่ต่างกัน หมายถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$)

การเติมเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในอัตราส่วนที่สูงขึ้น ส่งผลให้ปริมาณความชื้น และค่าวอเตอร์แอกติวิตี้ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลง (ตารางที่ 4.1) พบว่า ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวลงไปเป็นปริมาณที่มากขึ้น เป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งที่อยู่ในอิมัลชันให้สูงขึ้น และทำให้มีปริมาณน้ำที่ต้องระเหยออกไปน้อยลง (Kha *et al.*, 2010) จากผลการทดลอง พบว่าผลผลิตเอนแคปซูเลชันมีค่าโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 51.69-78.38 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวต่อสารห่อหุ้มในอิมัลชันจะส่งผลให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผลผลิตเอนแคปซูเลชัน เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณปริมาณของแข็งก่อนและหลังการทำแห้งแบบพ่นฝอย ดังนั้นเมื่อเพิ่มปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวลงไป ย่อมส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของผลผลิตเอนแคปซูเลชัน อย่างไรก็ตาม หากมีการเพิ่มอัตราส่วนเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวจนมากเกินไป จะส่งผลทำให้อิมัลชันไม่คงตัว และสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อผู้ผู้ใดเห็นใบเขียวหรือเขียนต้นไม้อื่นๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห่อหุ้มไม่สามารถสร้างชั้นฟิล์มมาห่อหุ้มเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวได้ทั้งหมด ทำให้ผลผลิตเอนแคปซูเลชันต่ำ (Shu *et al.*, 2006)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงเยื่อหุ้มพืชข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลทในสภาวะต่างๆ และมีปริมาณเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวแตกต่างกัน (ภาพที่ 4.8) ผลการทดลองพบว่า การเพิ่มปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดในตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม สารห่อหุ้มแต่ละชนิด ย่อมมีอัตราส่วนระหว่างสารแกนกลางและสารห่อหุ้มที่เหมาะสมแตกต่างกัน ดังนั้นถ้าหากใช้เยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในปริมาณที่มากเกินไป จะทำให้สารแคโรทีนอยด์ไม่ได้ถูกห่อหุ้มทั้งหมด และอาจหลงเหลืออยู่ที่พื้นผิวของไมโครแคปซูล และมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศได้มากขึ้น จึงส่งผลให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ได้ นอกจากนี้ Beristain *et al.* (2001) ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของสารแกนกลางมากเกินไป ทำให้การสร้างชั้นฟิล์มเพื่อห่อหุ้มอนุภาคของสารแกนกลางขนาดใหญ่ใช้เวลานาน จึงส่งผลให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์ระหว่างกระบวนการทำแห้งได้อีกด้วย

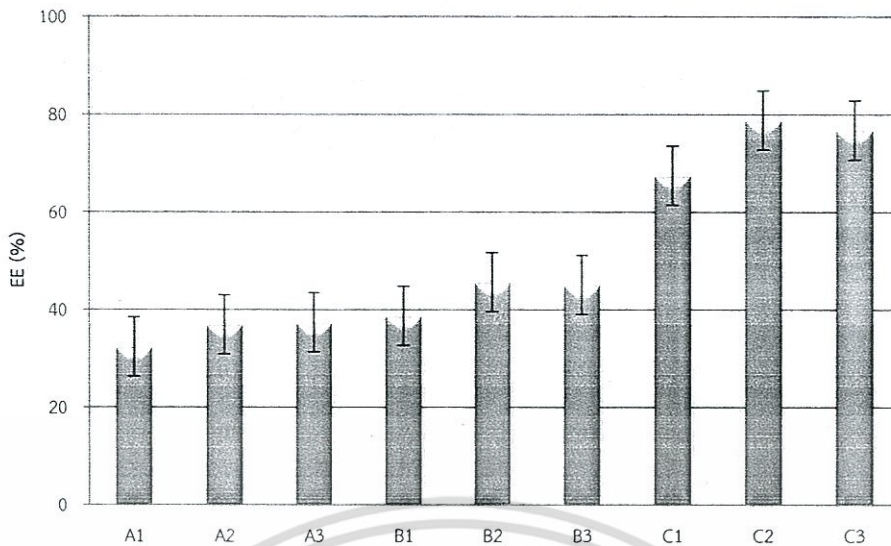


ภาพที่ 4.8 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวต่างกัน

หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์
 B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์
 C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์

จากประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน (ภาพที่ 4.9) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าว ทำให้ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันในตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด อย่างไรก็ตามเป็นที่สังเกตว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวจาก 16.7 เป็น 25.0 เปอร์เซ็นต์ในมอลโตเดกทริน และ 20.0 เป็น 33.3 เปอร์เซ็นต์สำหรับสารเจลาตินและเบต้าไซโคลเดกทริน ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันไม่ได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสารห่อหุ้มแต่ละชนิด ย่อมมีอัตราส่วนระหว่างสารแกนกลางและสารห่อหุ้มที่เหมาะสมแตกต่างกัน ซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน ถ้ามีสารแกนกลาง ซึ่งในการทดลองนี้ คือ แคโรทีนอยด์ในปริมาณมากเกินไป จะส่งผลให้สารห่อหุ้มไม่สามารถกักเก็บสารแกนกลางนั้นเอาไว้ได้ทั้งหมด ส่งผลให้ประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันจึงต่ำลง และมีแคโรทีนอยด์

เอ็กสาร์น เบนเอ็กสาร์ทิสวณเวสท์หีบการเชิงานเพื่อกำรศกษเท้านัน เมื่อนุญเตเห็นาเป็เซบระเข็ช่นตาเนการค้ำ
 ไม่ว่าจะณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพแอนติออกซิเดชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน

หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์
 B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์
 C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์

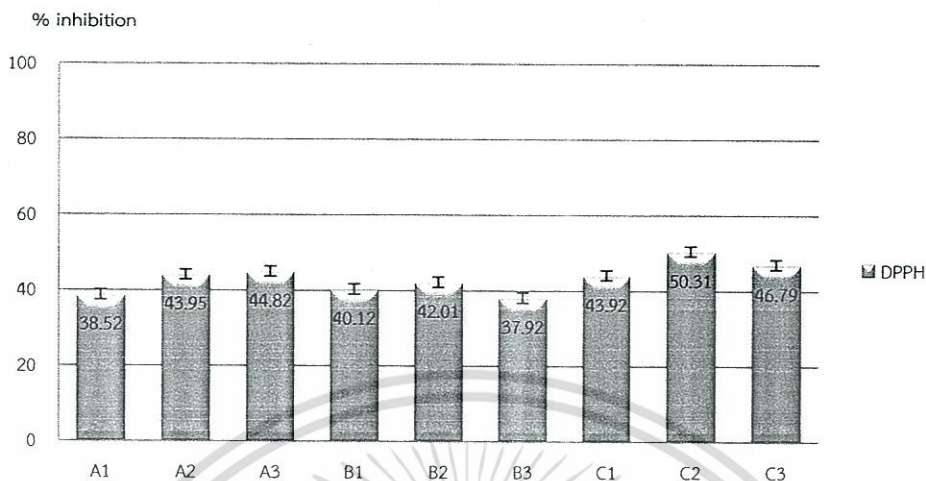
หลงเหลืออยู่ที่พื้นผิวของไมโครแคปซูลในปริมาณมาก (Tan et al., 2005) นอกจากนี้ Beristain et al. (2001) ยังได้รายงานว่าการใช้สัดส่วนของสารแกนกลางหรือ เยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ไม่เหมาะสม ทำให้การห่อหุ้มสารนั้นเกิดได้ไม่สมบูรณ์และไม่สามารถกักเก็บแคโรทีนอยด์เอาไว้ได้ จึงส่งผลต่อประสิทธิภาพแอนติออกซิเดชัน

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ซึ่งเป็นการวัดค่าการลดลงของสีม่วงจากอนุมูลอิสระ DPPH เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับสารต้านอนุมูลอิสระ โดยอัตราการลดลงของสีม่วงขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในตัวอย่าง (Brand-Williams et al., 1995) พบว่า การเพิ่มปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ในตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นด้วย (ภาพที่ 4.10) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ที่เป็นสารต้านอนุมูลอิสระหลักที่พบในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว อย่างไรก็ตามการที่ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ลดลงในชุดทดลองที่เติมเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 33.3 เปอร์เซ็นต์ในเจลาตินและเบต้าไซโคลเดกทรินนั้น อาจมีสาเหตุมาจากการสลายตัวด้วยความร้อนและการเกิดออกซิเดชันของสารกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่ไม่ถูกห่อหุ้มอย่างสมบูรณ์อีกด้วย

ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB นั้นเป็นการวัดการซีดจางของสีส้มเหลืองของเบต้าแคโรทีน เนื่องมาจากการทำปฏิกิริยากับอนุมูลอิสระที่เกิดจากการออกซิเดชันของกรดลิโนเลอิกในอิมัลชัน (Kulisic et al., 2004) โดยอัตราการซีดจางของสีส้มเหลืองจะขึ้นอยู่กับปริมาณสารต้านอนุมูลอิสระที่อยู่ในตัวอย่าง พบว่า การเพิ่มปริมาณของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ทำให้ความสามารถในการต้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ในตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้น (ภาพที่ 4.11) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH

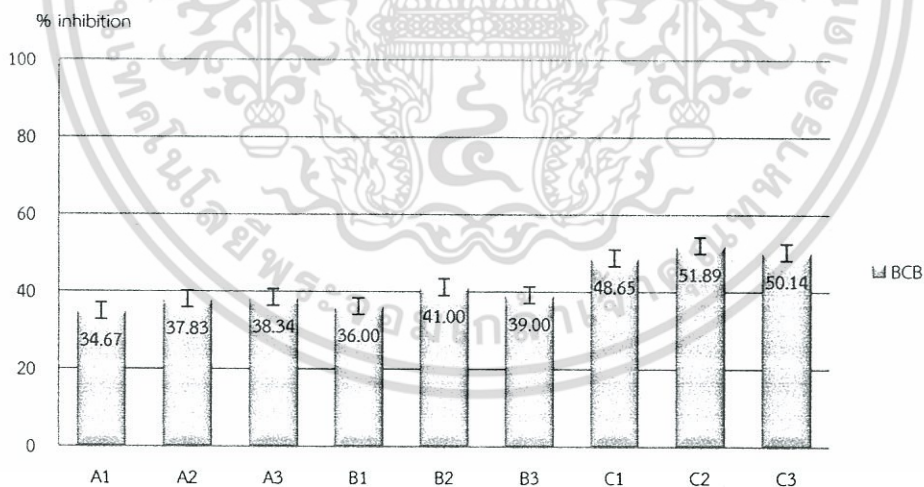


ภาพที่ 4.10 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูต่างกัน

หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์

B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์

C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.11 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนูต่างกัน

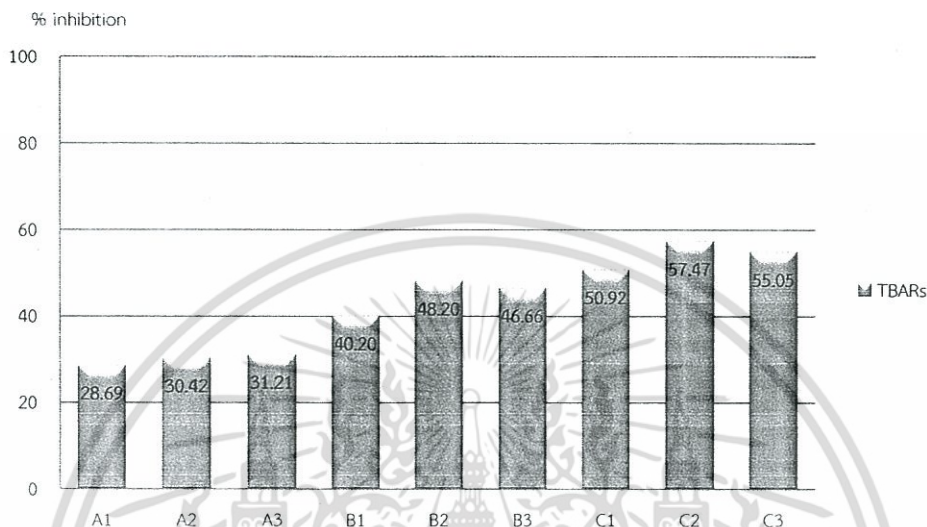
หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์

B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์

C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดพริกขี้หนู 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS เป็นการวัดสารมีสีชมพูถึงสีแดงที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างมาลคอนแอลดีไฮด์จากการแตกตัวของเพอร์ออกไซด์ กับ 2-thiobabaturic acid (TBA) (Banerjee et al., 2005) ผลการทดลองดังภาพที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS ในตัวอย่างมีแนวโน้มสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนเยื่อหุ้มฟักข้าว ซึ่งสอดคล้องกับค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH และ BCB

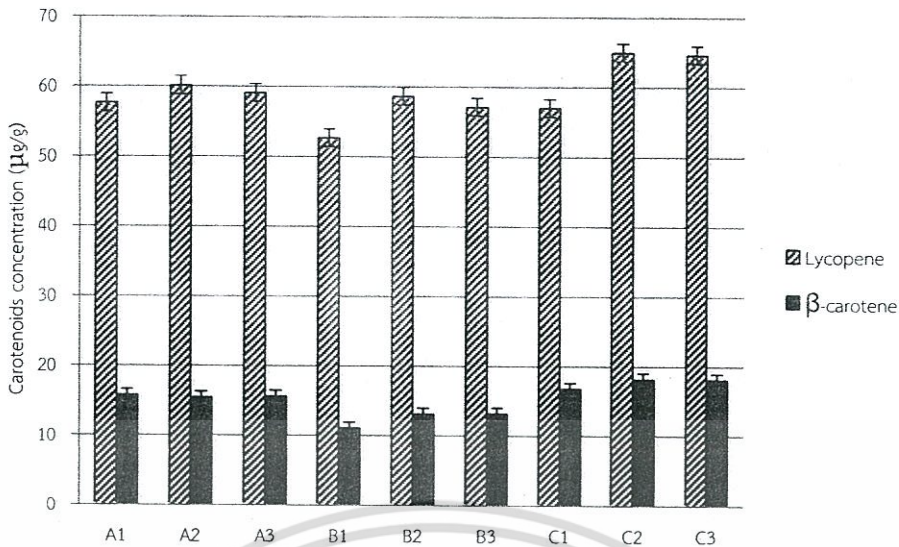


ภาพที่ 4.12 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน

หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทรีน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์
 B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์
 C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทรีน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์

ปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ดังแสดงในภาพที่ 4.13 พบว่าผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวมีปริมาณไลโคพินเฉลี่ยอยู่ในช่วง 52.54-64.87 ไมโครกรัมต่อกรัม และปริมาณเบต้าแคโรทีนเฉลี่ยอยู่ในช่วง 11.04-18.04 ไมโครกรัมต่อกรัม สำหรับผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้มอลโตเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนสูงสุด 60.00 และ 15.39 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 16.7 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เจลาตินเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนสูงสุด 58.54 และ 13.05 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 20.0 เปอร์เซ็นต์ และผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เบต้าไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนสูงสุด 64.87 และ 18.12 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ที่ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 20.0 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

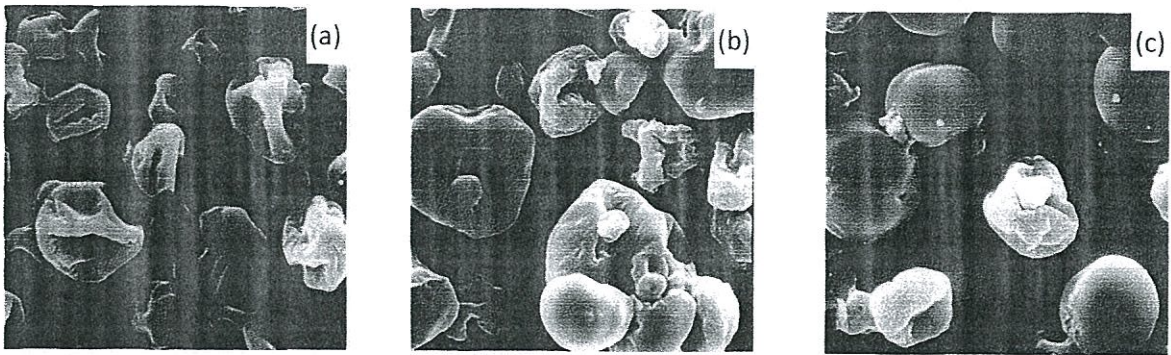


ภาพที่ 4.13 ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน

หมายเหตุ A1-A3 = มอลโตเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 12.5 (A1), 16.7 (A2) และ 25.0 (A3) เปอร์เซ็นต์
 B1-B3 = เจลาติน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (B1), 20.0 (B2) และ 33.3 (B3) เปอร์เซ็นต์
 C1-C3 = เบต้า-ไซโคลเดกทริน ความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 11.1 (C1), 20.0 (C2) และ 33.3 (C3) เปอร์เซ็นต์

เมื่อนำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่มีปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ประสิทธิภาพเอนแคปซูลชันความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ปริมาณไลโคปีนและเบต้าแคโรทีนที่สูงที่สุดของแต่ละสารห่อหุ้มมาส่งดูลักษณะของผงไมโครแคปซูลที่ได้ พบว่าไมโครแคปซูลของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยในสภาวะที่เลือกมา มีลักษณะรูปร่างภายนอกเป็นทรงกลม มีรอยหยัก และไม่มียอยแตก (ภาพที่ 4.14a-4.14c) แสดงถึงลักษณะการห่อหุ้มสารแกนกลางที่ดี ส่วนรอยหยักที่พบในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกทริน (ภาพที่ 4.14a) และเจลาติน (ภาพที่ 4.14b) นั้น อาจเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งทำให้อนุภาคของผงเกิดการหดตัวระหว่างขั้นตอนทำแห้งและทำให้เย็น (Sheu & Rosenberg, 1998; Pedroza-Islas et al., 1999) นอกจากนี้ยังพบแคโรทีนอยด์อิสระกระจายตัวอยู่บ้าง และขนาดอนุภาคของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ได้ไม่ค่อยสม่ำเสมอ

จากนั้นทำการคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูลเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอยของสารห่อหุ้มแต่ละชนิด ได้แก่ มอลโตเดกทริน 20.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 125 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 16.7 เปอร์เซ็นต์ เจลาติน 3.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 125 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 20.0 เปอร์เซ็นต์ และเบต้าไซโคลเดกทริน 3.0 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 135 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว 20.0 เปอร์เซ็นต์ มาทำการศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษาต่อไป



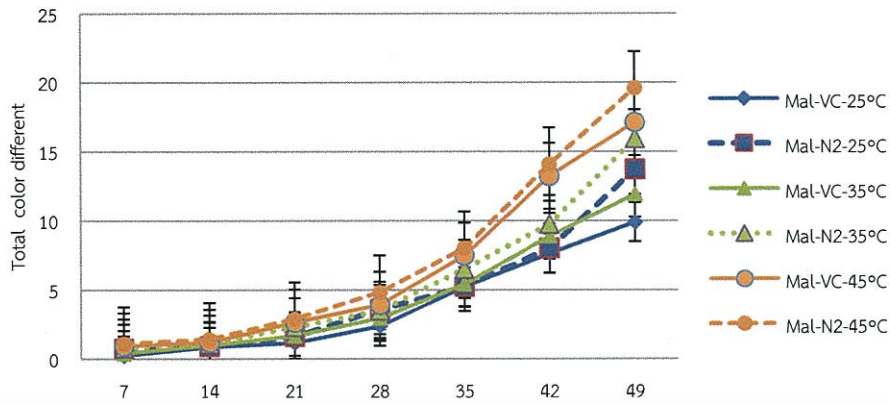
ภาพที่ 4.14 ไมโครกราฟจากการส่องกล้อง SEM ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ระดับความเข้มข้นเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวต่างกัน : มอลโตเดกทรีน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

4.3 ผลการศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ

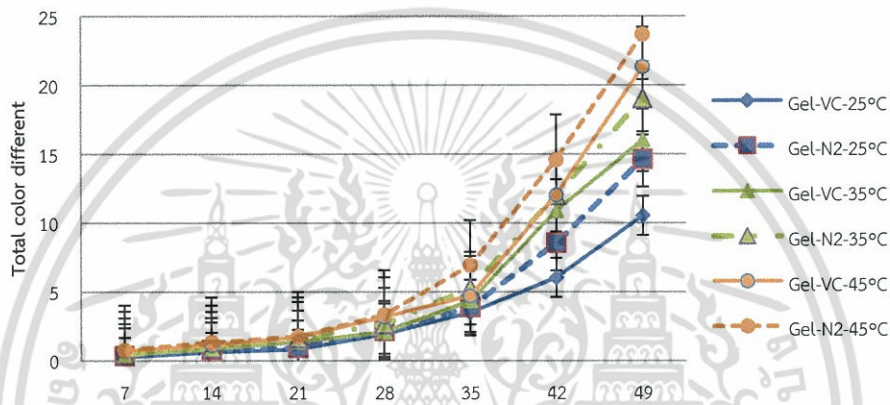
การทดลองนี้เป็นการศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ ในภาชนะบรรจุ 2 แบบ ได้แก่ บรรจุแบบสุญญากาศและบรรจุแบบอัดก๊าซไนโตรเจน จากนั้นนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 3 ระดับ ได้แก่ 25 35 และ 45 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างที่ระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 7 สัปดาห์ ได้ผลดังนี้

จากภาพที่ 4.15 ค่าความแตกต่างโดยรวมของสีผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ ได้รับอิทธิพลมาจากอุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษาอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยไม่ขึ้นกับสภาวะการบรรจุ ($p \geq 0.05$) โดยพบว่าค่าความแตกต่างโดยรวมของสีผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ห่อหุ้มด้วยมอลโตเดกทรีนและเจลาตินที่ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา มีแนวโน้มคงที่ในช่วง 21 วันแรกของการเก็บรักษา และหลังจากนั้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษาส่วนผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ห่อหุ้มด้วยเบต้าไซโคลเดกทรีนนั้น ที่ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษาจะมีค่าความแตกต่างโดยรวมของสีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ภายหลังจากการเก็บรักษา 35 วัน โดยที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จะพบการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างโดยรวมของสีมากที่สุดในทุกตัวอย่าง ($p < 0.05$) ซึ่งการเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงและระยะเวลาการเก็บรักษาที่ยาวนานขึ้น ย่อมส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความแตกต่างโดยรวมของสีผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าความแตกต่างโดยรวมของสี เป็นผลมาจากค่าความสว่างที่เพิ่มสูงขึ้นและค่าสีแดงที่ลดลงของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ซึ่งสอดคล้องกับ Chen & Tang (1998) ซึ่งรายงานการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างโดยรวมของสีในผงเปลือกแครอทตามอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น และ Kha *et al.*, (2010) ที่ได้รายงานการเพิ่มขึ้นของค่าความแตกต่างโดยรวมของสีในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 20 และ 37 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 3 เดือน

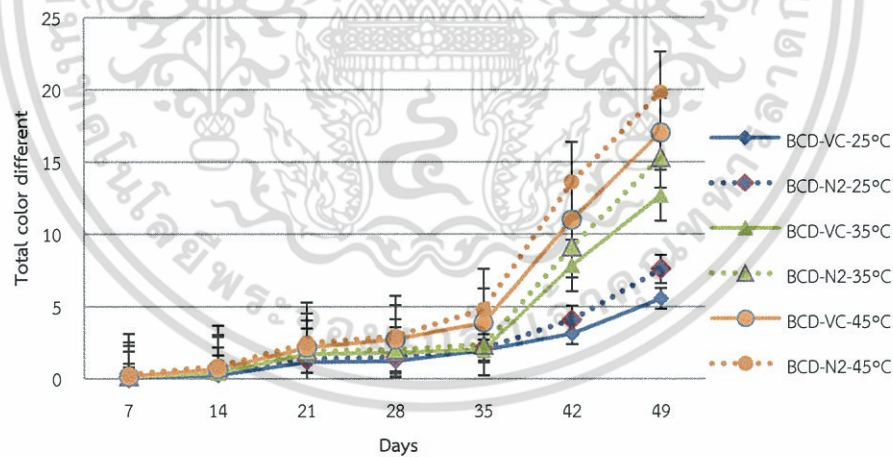
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



a)



b)



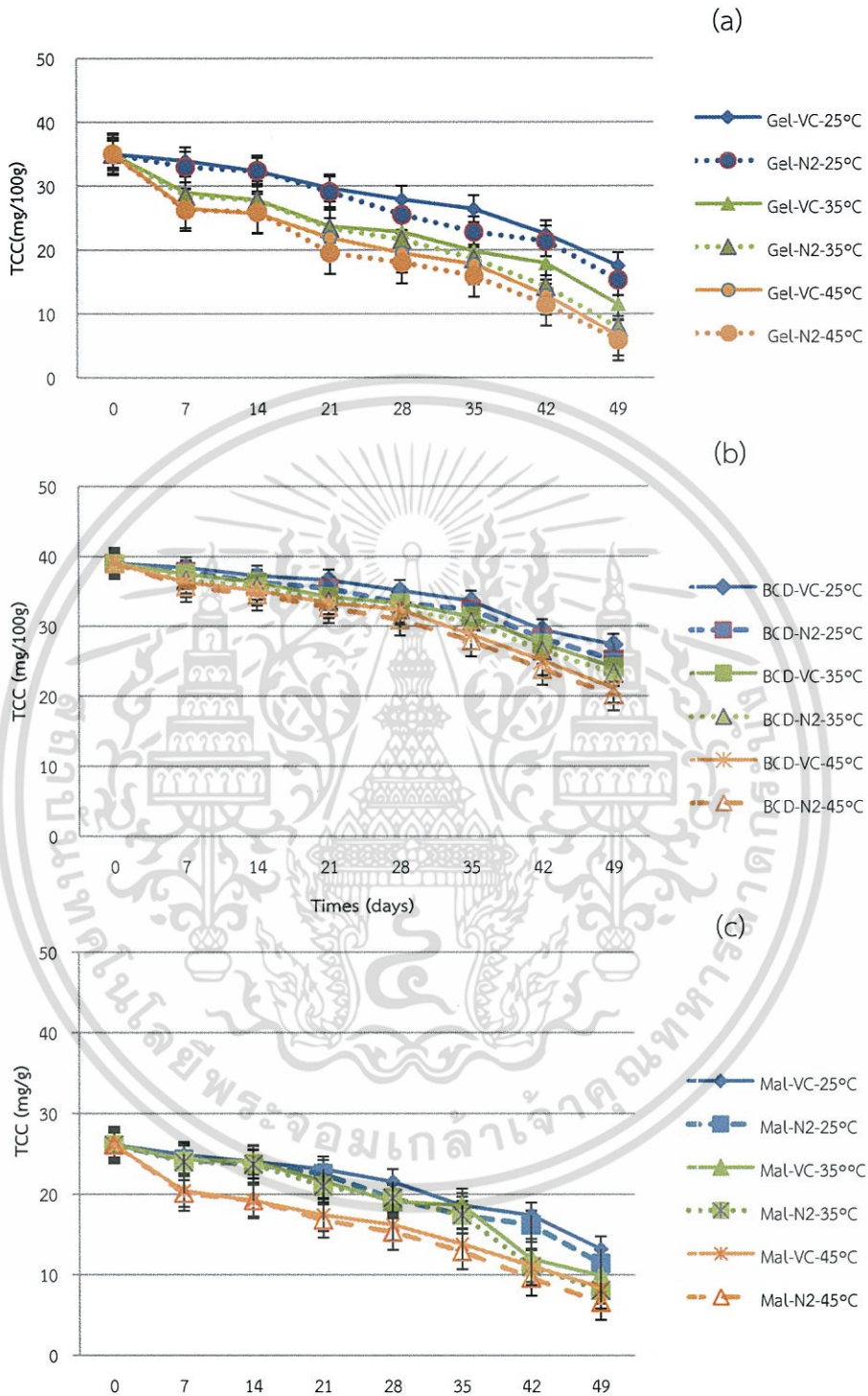
c)

ภาพที่ 4.15 ค่าความแตกต่างโดยรวมของสี (Total color different) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา : มอลโตเดกทริน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน (DPPH, BCB และ TBARS) ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เก็บรักษาในสภาวะต่างๆ แสดงไว้ในภาพที่ 4.16-4.20 ผลการทดลองบ่งชี้ว่า อุณหภูมิการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ($p < 0.05$) โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาย่อมส่งผลให้เกิดการสลายตัว

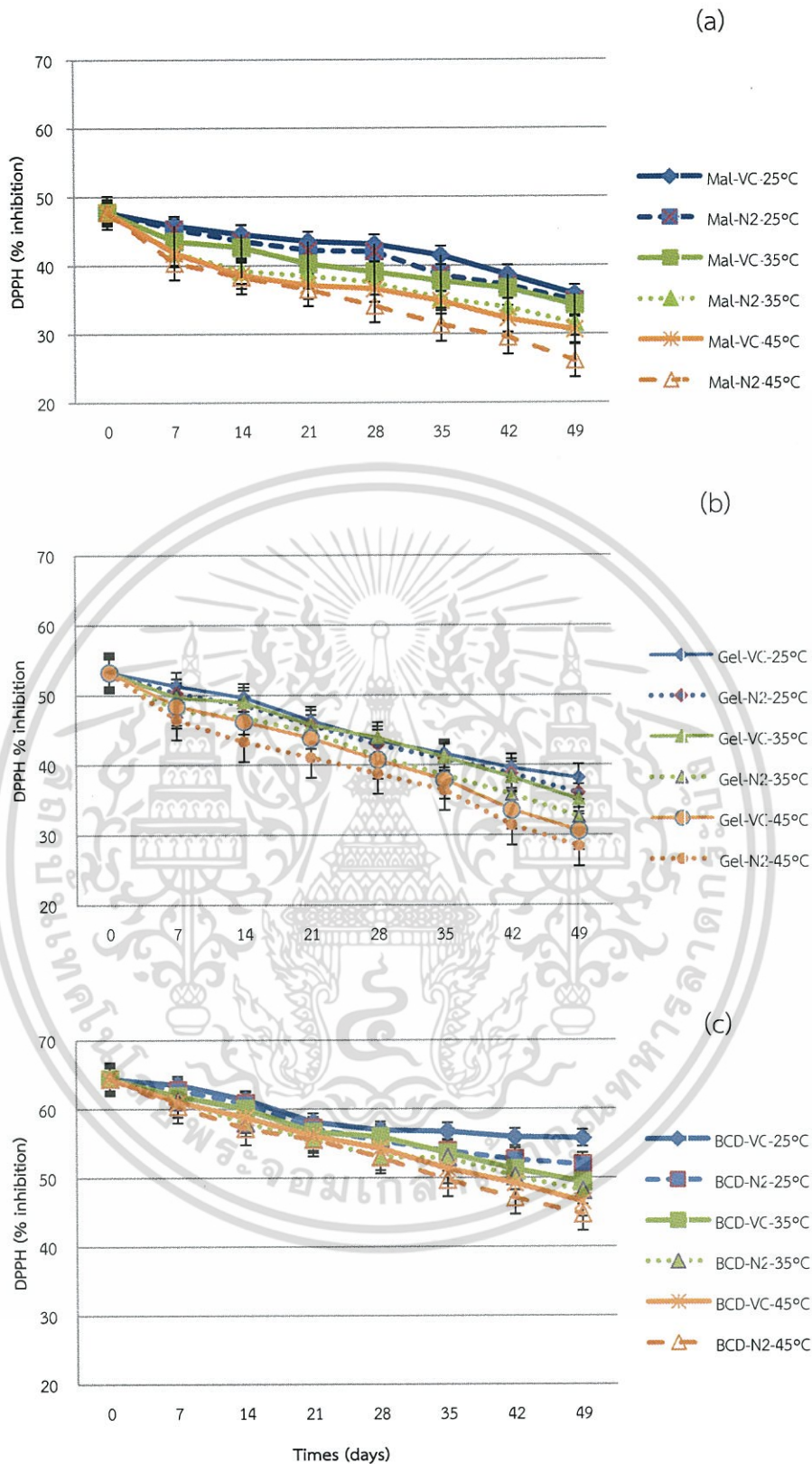
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของแคโรทีนอยด์ และทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดต่ำลงอย่างไรก็ตามสภาวะ การบรรจุไม่ มีผลต่อการสลายตัวของแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$)



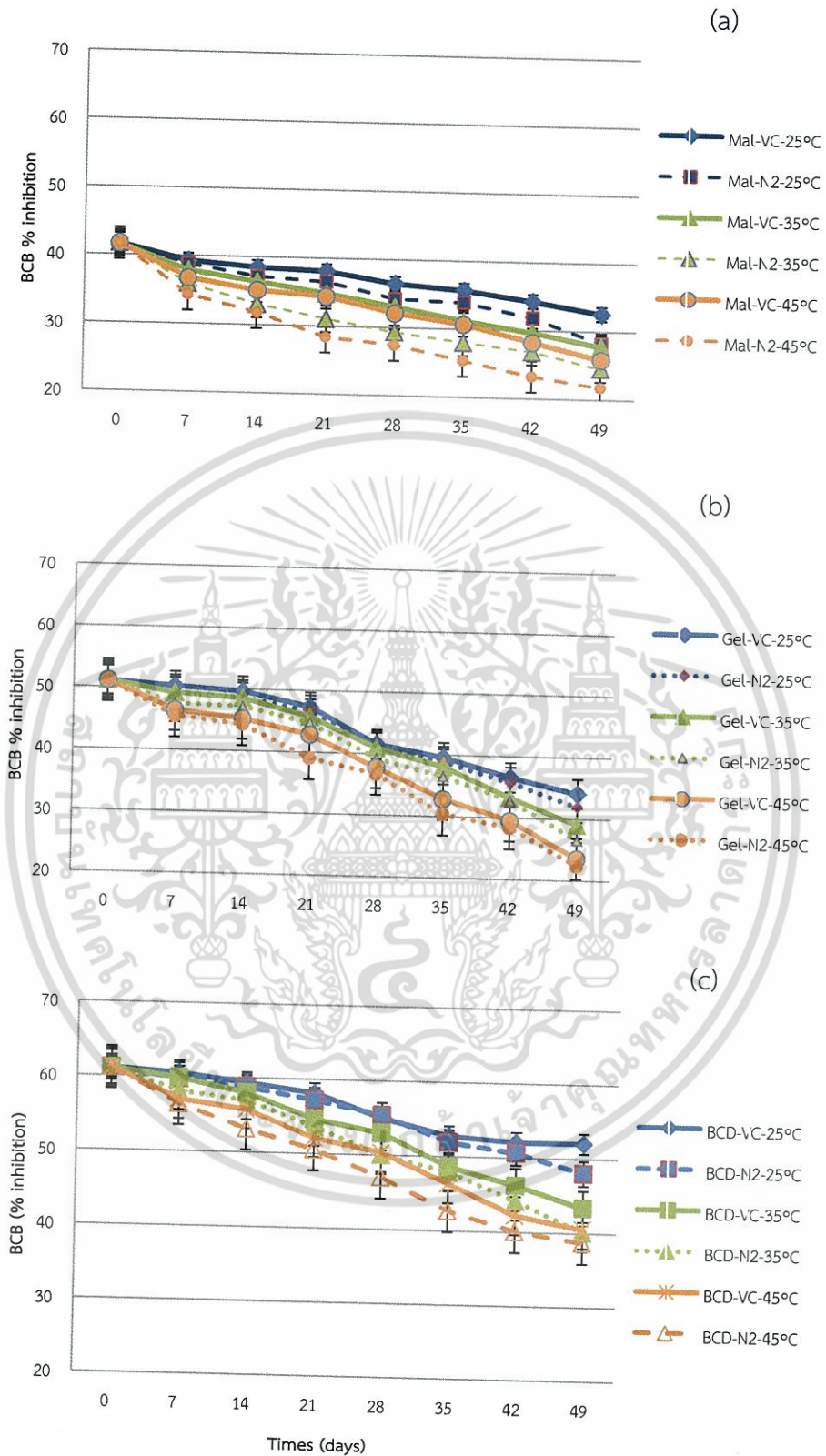
ภาพที่ 4.16 ปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา: มอลโตเดกทริน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



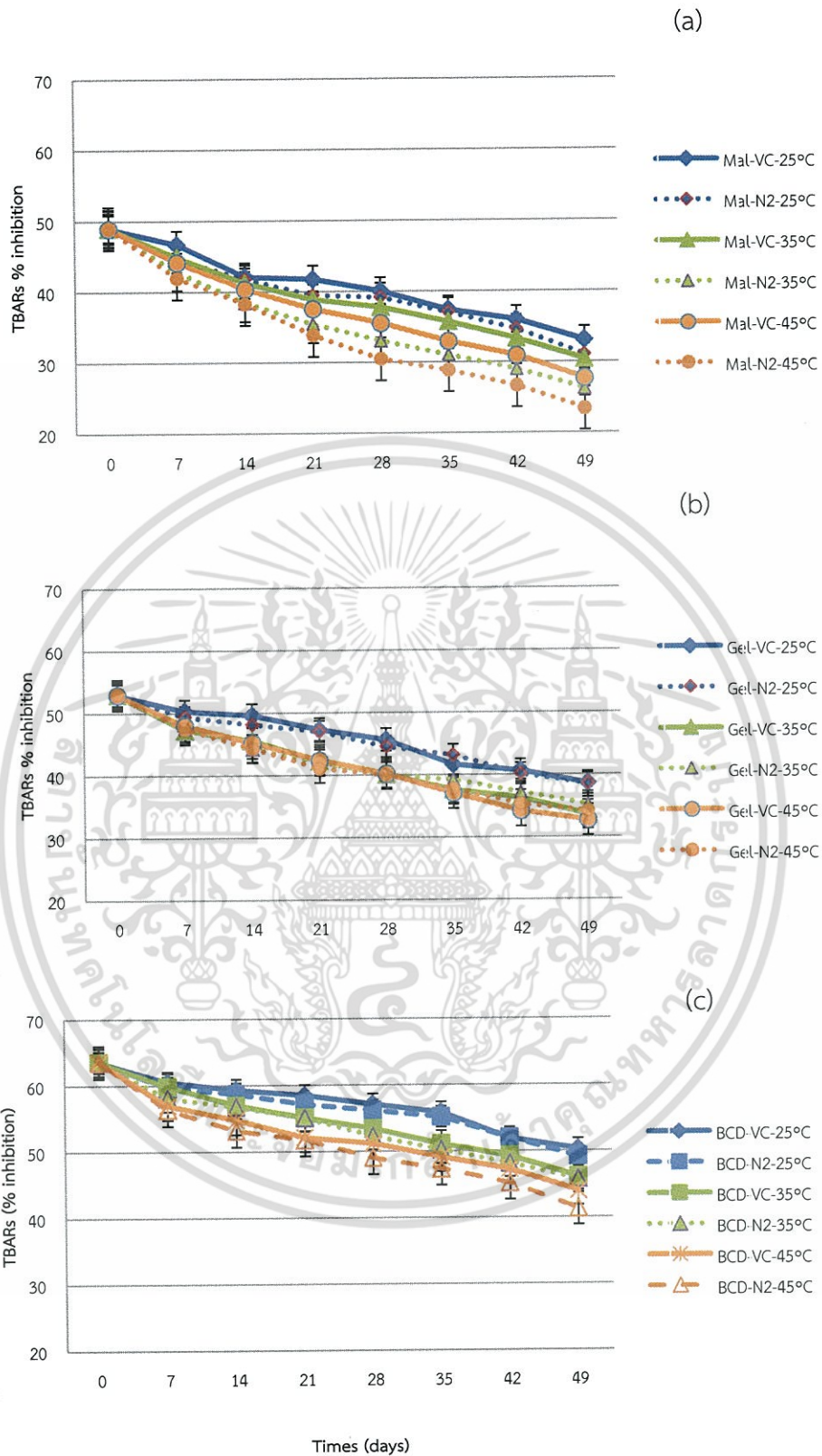
ภาพที่ 4.17 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวระหว่างการศึกษา: มอลโตเดกทริน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา: มอลโตเดกทริน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

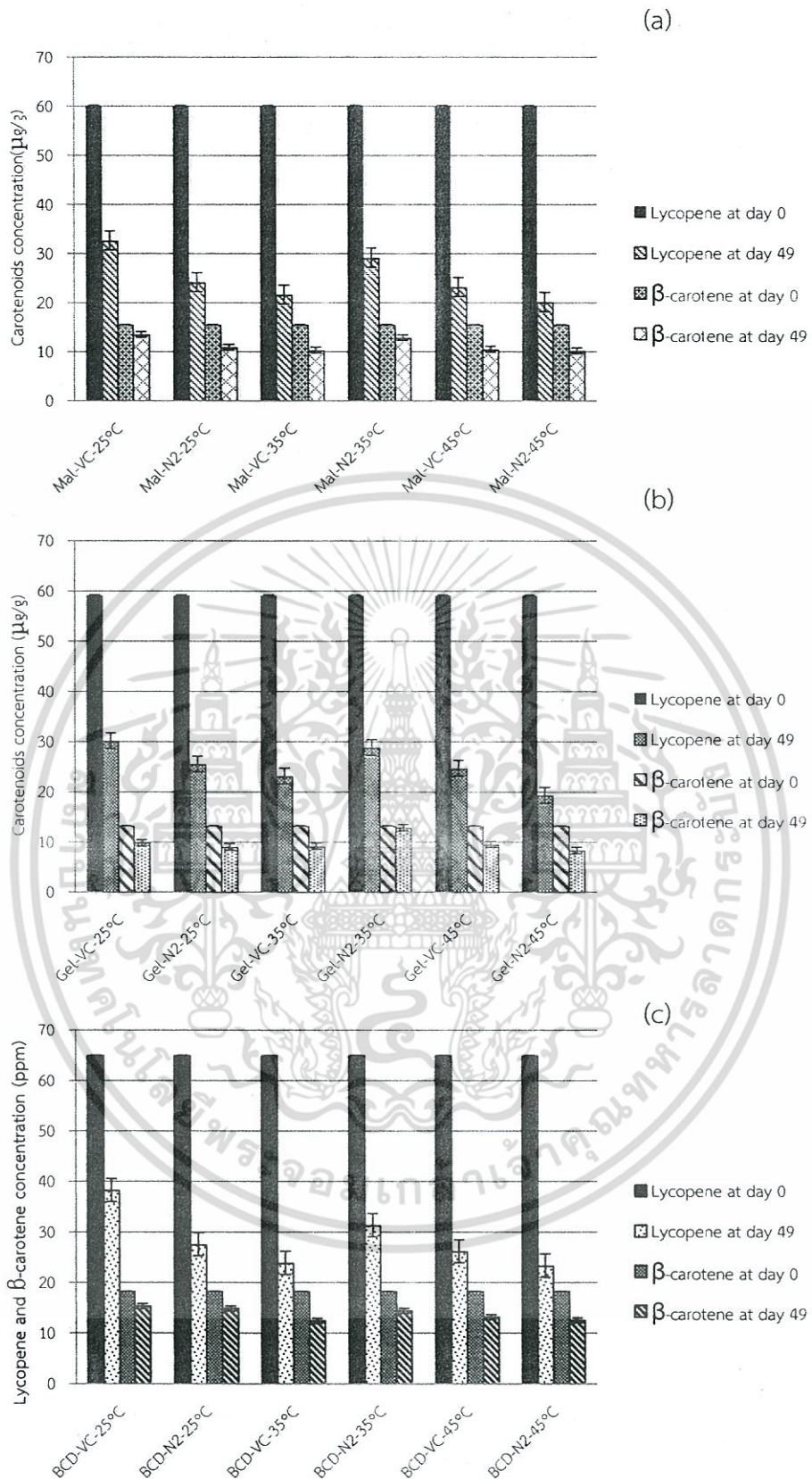


ภาพที่ 4.19 ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARS ของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา : มอลโตเดกทรีน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทรีน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีของสารห่อหุ้มชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาเดียวกันพบว่า สารเบต้าไซโคลเดกทรีน มีการสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยที่สุด ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส ทั้ง 2 สภาวะการบรรจุ โดยมีเปอร์เซ็นต์การสูญเสีย ดังนี้ การบรรจุแบบสุญญากาศ ปริมาณแคโรทีนอยด์ 11.62 เปอร์เซ็นต์ DPPH 8.62 เปอร์เซ็นต์ BCB 9.09 เปอร์เซ็นต์และ TBARs 13.25 เปอร์เซ็นต์และการบรรจุแบบพ่นก๊าซไนโตรเจน ปริมาณแคโรทีนอยด์ 13.79 เปอร์เซ็นต์ DPPH 12.44 เปอร์เซ็นต์ BCB 13.10 เปอร์เซ็นต์ และ TBARs 14.35 เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองนี้ พบว่าการสูญเสียปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิและระยะเวลาในการเก็บรักษา ซึ่งมีสาเหตุมาจากการเกิดออกซิเดชันและไอโซเมอไรเซชันของแคโรทีนอยด์ สอดคล้องกับรายงานของ Desobry *et al.*, (1997); Chen & Tang, (1998); Kha *et al.*, (2010) โดยกลไกการสลายตัวของแคโรทีนอยด์นั้น เกิดจากการที่อุณหภูมิสูงไปส่งเสริมการเกิดออกซิเดชันและไอโซเมอไรเซชันของแคโรทีนอยด์ จากรูปแบบของ *trans*- ให้อยู่ในรูป *cis*- ซึ่งมีความคงตัวต่ำในระหว่างการเก็บรักษา จึงส่งผลให้เกิดการสลายตัวของแคโรทีนอยด์และทำให้ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของแคโรทีนอยด์ลดลงไปด้วย (Kha *et al.*, 2010)

ปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน (ไมโครกรัมต่อกรัม) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค HPLC ดังแสดงในภาพที่ 4.20 พบว่าอุณหภูมิการเก็บรักษามีอิทธิพลต่อปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวระหว่างการเก็บรักษา ($p < 0.05$) ตามสภาวะการบรรจุ ไม่มีผลต่อปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) โดยทั่วไปการเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาย่อมส่งผลต่อการสลายตัวของไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน ผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ซึ่มอลโตเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนก่อนการเก็บรักษา 59.98 และ 15.39 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ส่วนผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เจลาตินเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนก่อนการเก็บรักษา 59.04 และ 13.05 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ใช้เบต้าไซโคลเดกทรีนเป็นสารห่อหุ้ม มีปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนก่อนการเก็บรักษา 64.87 และ 18.12 ไมโครกรัมต่อกรัม ตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการเก็บรักษาพบว่า ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การใช้สารห่อหุ้มทั้ง 3 ชนิดมีการสูญเสียปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนต่ำที่สุด ในทั้ง 2 สภาวะการบรรจุ (ไลโคพีน 41.22-49.13 เปอร์เซ็นต์ และเบต้าแคโรทีน 13.07-25.66 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ) และที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้น แนวโน้มการสูญเสียปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนย่อมมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ การสูญเสียไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน จะมากขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บรักษา โดยมีสาเหตุมาจากการเกิดออกซิเดชันและไอโซเมอไรเซชันของแคโรทีนอยด์ทั้ง 2 ชนิด สอดคล้องกับรายงานของ Lin & Chen (2005) ที่กล่าวว่า การสูญเสียปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนและการเกิดไอโซเมอไรเซชัน ทำให้แคโรทีนอยด์หลักทั้ง 2 ชนิด มีการเปลี่ยนไอโซเมอร์มาอยู่ในรูป *cis*- และมีความคงตัวต่ำในระหว่างการเก็บรักษา จึงส่งผลให้เกิดการสลายตัวของไลโคพีนและเบต้าแคโรทีน



ภาพที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไลโคพีนและเบต้าแคโรทีนของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวก่อนและหลังการเก็บรักษา : มอลโตเดกทริน (a), เจลาติน (b) และ เบต้า-ไซโคลเดกทริน (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการทดลองนี้ การสลายตัวของแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวเป็นไปตามสมการปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Wagner & Warthesen (1995) โดยพารามิเตอร์ทางจลศาสตร์ของปริมาณแคโรทีนอยด์และค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันทั้ง 3 วิธีของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวภายใต้สภาวะการเก็บรักษาต่างๆ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเก็บรักษาจาก 25 เป็น 45 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.5 - 4.8 โดยอัตราการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันจะมีค่าสูงขึ้น และมีค่าครึ่งชีวิต (half-life) ลดลง ซึ่งคำนวณได้จากอัตราการสลายตัวของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันมีแนวโน้มลดลงกว่าที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ค่า Q_{10} ซึ่งเป็นค่าที่แสดงจำนวนเท่าของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาที่เพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิการเก็บรักษาสูงขึ้นด้วย จากผลการทดลองชี้ให้เห็นว่า การสลายตัวของแคโรทีนอยด์และการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง ดังนั้น ควรเก็บรักษาผงเยื่อหุ้มฟักข้าวไว้ในอุณหภูมิต่ำ เพื่อป้องกันการสูญเสียแคโรทีนอยด์และความสามารถในการต้านออกซิเดชัน

ตารางที่ 4.5 ค่าพารามิเตอร์ทางจลศาสตร์ของการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด

ตัวอย่าง	สภาวะการบรรจุ	อุณหภูมิ (°C)	$K_{\text{carotenoid}}$ (วัน ⁻¹)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)	R^2	Q_{10}
A	V	25	-0.0126	104	0.8868	
		35	-0.0151	86	0.8931	1.1984
		45	-0.0190	69	0.8645	1.2583
	N	25	-0.0223	59	0.8468	
		35	-0.0225	58	0.9515	1.0090
		45	-0.0248	53	0.9350	1.1022
B	V	25	-0.0129	54	0.898	
		35	-0.0156	44	0.9197	1.2093
		45	-0.0192	36	0.9137	1.2307
	N	25	-0.0258	27	0.8781	
		35	-0.0282	25	0.8663	1.093
		45	-0.0310	22	0.8996	1.099
C	V	25	-0.0070	279	0.8919	
		35	-0.0084	232	0.9132	1.2000
		45	-0.0091	214	0.9198	1.0833
	N	25	-0.0097	201	0.9286	
		35	-0.0115	169	0.9158	1.1855
		45	-0.0125	156	0.9328	1.0869

หมายเหตุ A (มอลโตเดกทรีน) B (เจลาติน) C (เบต้าไซโคลเดกทรีน); VC = การบรรจุแบบสุญญากาศ N= การบรรจุแบบพ่นก๊าซไนโตรเจน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่เห็นเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี DPPH ตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1

ตัวอย่าง	สถานะการบรรจุ	อุณหภูมิ (°C)	k_{DPPH} (วัน ⁻¹)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)	R^2	Q_{10}
A	V	25	-0.0053	131	0.9286	
		35	-0.0061	114	0.9719	1.1509
		45	-0.0061	114	0.9753	1.0000
	N	25	-0.0073	95	0.9485	
		35	-0.0081	86	0.9497	1.1096
		45	-0.0110	63	0.9763	1.3580
B	V	25	-0.0072	96	0.9928	
		35	-0.0079	87	0.9958	1.0972
		45	-0.0082	85	0.9798	1.0379
	N	25	-0.0094	74	0.9826	
		35	-0.0109	64	0.9825	1.1595
		45	-0.0118	59	0.9767	1.0825
C	V	25	-0.0043	161	0.9164	
		35	-0.0053	131	0.9518	1.2325
		45	-0.0064	108	0.9535	1.2075
	N	25	-0.0051	136	0.9431	
		35	-0.0057	122	0.9595	1.1174
		45	-0.0073	95	0.9681	1.2807

หมายเหตุ A (มอลโตเดครติน) B (เจลาติน) C (เบต้าไซโคลเดรกทรีน); VC = การบรรจุแบบสุญญากาศ N= การบรรจุแบบ ฟังก์ชันไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 พารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี BCB ตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1

ตัวอย่าง	สภาวะการบรรจุ	อุณหภูมิ (°C)	$k_{\text{oxidation}}$ (วัน ⁻¹)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)	R^2	Q_{10}
A	V	25	-0.0045	154	0.9754	
		35	-0.0069	100	0.9483	1.5333
		45	-0.0078	89	0.9917	1.1304
	N	25	-0.0087	80	0.9672	
		35	-0.0097	71	0.9725	1.1149
		45	-0.0123	56	0.9666	1.2680
B	V	25	-0.0089	78	0.9482	
		35	-0.0097	71	0.9489	1.0898
		45	-0.0115	60	0.9363	1.1856
	N	25	-0.0125	55	0.9285	
		35	-0.0149	47	0.9441	1.1920
		45	-0.0159	44	0.9618	1.0671
C	V	25	-0.0039	178	0.9467	
		35	-0.0072	96	0.9765	1.8461
		45	-0.0085	82	0.9821	1.1805
	N	25	-0.005	139	0.9672	
		35	-0.0084	83	0.9744	1.6800
		45	-0.0096	72	0.9928	1.1428

หมายเหตุ A (มอลโตเดรคติน) B (เจลาติน) C (เบต้าไซโคลเดรกทรีน); VC = การบรรจุแบบสุญญากาศ N= การบรรจุแบบ ฟังก์ชันไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ทางจลนศาสตร์ของการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธี TBARs ตามปฏิกิริยาอันดับที่ 1

ตัวอย่าง	สภาวะการบรรจุ	อุณหภูมิ (°C)	K_{TBARs} (วัน ⁻¹)	ค่าครึ่งชีวิต (วัน)	R^2	Q_{10}
A	V	25	-0.0076	91	0.9794	
		35	-0.0082	85	0.9664	1.0789
		45	-0.009	77	0.9850	1.0976
	N	25	-0.011	63	0.9852	
		35	-0.012	58	0.9930	1.0909
		45	-0.0143	48	0.9880	1.1917
B	V	25	-0.0065	107	0.9782	
		35	-0.0062	112	0.984	0.9538
		45	-0.0087	80	0.9871	1.4032
	N	25	-0.0076	91	0.965	
		35	-0.0086	81	0.9766	1.1315
		45	-0.0097	71	0.9954	1.1279
C	V	25	-0.0044	158	0.9524	
		35	-0.0046	151	0.9538	1.0454
		45	-0.0061	114	0.9908	1.3261
	N	25	-0.0062	112	0.9858	
		35	-0.0066	105	0.9626	1.0645
		45	-0.0077	90	0.9674	1.1666

หมายเหตุ A (มอลโตเดรคติน) B (เจลาติน) C (เบต้าไฮโคลเดรทรีน); VC = การบรรจุแบบสุญญากาศ N= การบรรจุแบบ ฟันก๊าซไนโตรเจน

โดยทั่วไป การเพิ่มขึ้นของค่าคงที่ในการสลายตัว (k) ของปริมาณโรตีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่อุณหภูมิการเก็บรักษา 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียสส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่า Q_{10} และการลดลงของค่าครึ่งชีวิตจากตารางที่ 4.5 พบว่า ที่อุณหภูมิเดียวกัน อัตราการสลายตัวของปริมาณแคโรตีนอยด์ทั้งหมดในสภาวะการบรรจุแบบฟันก๊าซไนโตรเจน มีค่าสูงกว่าสภาวะบรรจุแบบสุญญากาศในทุกสารห่อหุ้ม จึงส่งผลให้ค่าครึ่งชีวิตของชุดทดลองที่มีการบรรจุแบบฟันก๊าซไนโตรเจนต่ำกว่าชุดทดลองที่บรรจุแบบสุญญากาศตามไปด้วย และยังพบแนวโน้มเช่นเดียวกันนี้กับอัตราการลดลงของความสามารถในการเกิดออกซิเดชัน ทั้ง 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 4.6-4.8 อย่างไรก็ตาม จากค่าทางสถิติ ไม่พบว่าสภาวะการบรรจุมีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อปริมาณแคโรตีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว แต่จากข้อมูลผลการทดลองพบว่าในระหว่างการเก็บรักษา จะมีการสูญเสียปริมาณแคโรตีนอยด์ทั้งหมดและความสามารถในการต้านออกซิเดชันเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกซิเดชันในสภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศน้อยกว่าแบบพ่นก๊าซไนโตรเจน ดังนั้นจึงควรเลือกใช้สภาวะการบรรจุแบบสุญญากาศในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ผงที่มีแคโรทีนอยด์ในปริมาณมาก เพื่อหลีกเลี่ยงการสลายตัวของสารสำคัญดังกล่าว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ความเข้มข้นและอุณหภูมิลมร้อนขาเข้ามีผลต่อประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชัน ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน และปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีนในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ($p < 0.05$) โดยสถานะที่เหมาะสมของสารที่ห่อหุ้มทั้ง 3 ชนิด ในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชันด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่ มอลโตเดกทรีน 20 เปอร์เซ็นต์ และเจลาติน 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 125 องศาเซลเซียส และเบต้าไซโคลเดกทรีน 3 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 135 องศาเซลเซียสโดยสถานะทั้ง 3 ให้ค่าปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด และประสิทธิภาพเอนแคปซูเลชันสูงสุด ($p < 0.05$) ส่วนความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่เหมาะสมสำหรับสารห่อหุ้มมอลโตเดกทรีนเท่ากับ 16.7 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เจลาตินและเบต้าไซโคลเดกทรีนมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์

ความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ มีอิทธิพลจากอุณหภูมิและระยะเวลาการเก็บรักษา ต่อความแตกต่างโดยรวมของปริมาณแคโรทีนอยด์ทั้งหมด ความสามารถในการต้านออกซิเดชันและปริมาณไลโคพินและเบต้าแคโรทีน ส่วนการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันเป็นไปตามสมการปฏิกิริยาอันดับที่ 1 อีกทั้งอัตราการสลายตัวของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดและการลดลงของความสามารถในการต้านออกซิเดชันในสภาวะการบรรจุแบบพ่นก๊าซไนโตรเจนจะสูงกว่าการบรรจุแบบสุญญากาศเล็กน้อย ดังนั้นจึงควรเก็บรักษาผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวในบรรจุภัณฑ์แบบสุญญากาศและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเอนแคปซูเลชันเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเอนแคปซูเลชันสารสำคัญในเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว ได้แก่ ชนิดและปริมาณของสารห่อหุ้มที่เหมาะสม อุณหภูมิลมร้อนขาเข้าและความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว รวมถึงความคงตัวระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ ซึ่งอาจจะมีสมบัติบางประการที่ต้องศึกษาเพิ่มเติม เช่น การละลายและการคืนตัวของผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว การปลดปล่อยสารสำคัญ และการประยุกต์ใช้ผงเยื่อหุ้มฟักข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระบบอาหาร ควรมีการวิจัยต่อยอดโดยการนำผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าวนี้ไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม และมีการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์และประสาทสัมผัสสัมผัสเพิ่มเติม เพื่อให้งานวิจัยนี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

ผลผลิตงานวิจัย

6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้และที่อยู่ระหว่างดำเนินการ

Piyawan Youdee & Varipat Areekul. 2014. Microencapsulation of Gac Aril Using β -cyclodextrin as Wall Material. In proceedings 1st Joint ACS AGFD-ACS ICST Symposium Thailand, Monthien Riverside, Bangkok March 4-5, 2014.

Piyawan Youdee & Varipat Areekul. 2013. Microencapsulation of Gac Aril Using Gelatin as Carrier. In Proceeding of Food Innovation Asia 2013. The 15th Agro-industrial Conference. Bitec Conventional Center, Bangkok 13-14 June 2013.

Piyawan Youdee & Varipat Areekul. 2014. Stability of Carotenoids in Spray-dried Gac Aril Powder Encapsulated with β -cyclodextrins. In Proceeding of Food Innovation Asia 2014. The 15th Agro-industrial Conference. Bitec Conventional Center, Bangkok 12-13 June 2014.

เอกสารอ้างอิง

- เจนจิรา จิรัมย์ และประสงค์ สีหนาม. 2554. อนุมูลอิสระและสารต้านอนุมูลอิสระ: แหล่งที่มาและกลไกการเกิดปฏิกิริยา. วารสารวิชาการมหาวิทยาลัยราชภัฏกาฬสินธุ์, 1: 59-70.
- นริศา คำแก่น. 2551. การศึกษาฤทธิ์ทางชีวภาพของสมุนไพรริมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: ก๊อบปี้บ็อกซ์
- ไทรท ศรีโยธา, คมสันต์ อัจตมพงศ์พิเชษฐ์, พิศาล ฝ่ายชาวนา และ สมรรถ ชันทะมูล. 2556. การศึกษาระบบการอบแห้งแบบพ่นฝอย. ขอนแก่น: สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- ไมตรี สุทธจิตต์. 2543. ความสามารถของสารสำคัญในการต่อต้านอนุมูลอิสระไทย. เชียงใหม่: คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- สุรชาติภย์ ภมรประวัตติ. 2550. การเพิ่มผลผลิตผักข้าวโดยใช้ปุ๋ยอินทรีย์. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.scac.ac.th/rd/gac/page1.php>. 8 กรกฎาคม 2553.
- Aoki, H., Kieu, N.T., Kuze, N., Tomisaka K., & Chuyen, V. N. 2002. Carotenoid pigments in GAC fruit (*Momordica cochinchinensis* SPRENG), Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry. 66 (11): 2479–2482.
- Arnao, M.B. 1998. Some Methodological problems in determination of antioxidant activity using chromogen radical: a practical case. Trends in Food Science and Technology, 11: 419-421.
- Aruna, G. & Baskaran, V. 2010. Comparative study on the levels of carotenoids lutein, zeaxanthin and β -carotene in Indian spices of nutritional and medicinal importance. Food Chemistry 123: 404-409.
- Astorg, P. 1997. Food carotenoids and cancer prevention: an overview of current research. Trends in Food Science & Technology, 8: 406–413.
- Astray, G., Gonzalez-Barreiro, C., Mejuto, J.C., Rial-Otero, R., & Simal-Ga, J. 2009. A review on the use of cyclodextrins in foods. Food Hydrocolloids, 23:1631-1640.
- Banerjee, A., Dasgupta, N. & De, B. 2005. In vitro study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. Food Chemistry, 90: 727-733.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Basu, H. N., & Vecchio, A. D. 2001. Encapsulated carotenoid preparations from high carotenoid canola oil and cyclodextrins and their stability. *Journal of American Oil Chemist Society*, 78: 375-380.
- Bauernfield, J.C. 1971. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. *Journal of Agricultural Food Chemistry*. 20: 456-473.
- Beatus, Y., Raziell, A., Rosenberg, M., & Kopelman I.J. 1985. Spray drying microencapsulation of paprika oleoresin. *Lebensmittel Wissenschaft Technology*, 18, 28-34.
- Bonnie, T. P., and Choo, Y. M. (1999). Oxidation and thermal degradation of carotenoids. *Journal Oil Palm Res.* 2: 62-78.
- Boon, S., McClements, D. J., Weiss, J. & Decker, E. A. 2010. Factors Influencing the chemical stability of carotenoids in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50: 515-532.
- Blanch, G.P., Castillio, M.L.R., Mar Caja, M., Perez-Mendez, M. and Sanchez-Cortes, S. 2007. Stabilization of all-trans-lycopene from tomato by encapsulation using cyclodextrins. *Food Chemistry*. 105: 1335-1341.
- Boonsiri, P., Pooart, J., Tangrassameeprasert, R., & Hongsprabhas, P. 2007. Serum β -carotene, lycopene and α -tocopherol levels of healthy people in northeast Thailand. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 16: 47-51.
- Bruschi, M.L., Cardoso, M.L.C., Lucchesi, M.B., & Gremiaño M.P.D. 2003. Gelatin microparticles containing propolis obtained by spray-drying technique: preparation and characterization. *International Journal of Pharmaceutics*, 264, 45-55.
- Britton, G. 1996. Carotenoids. In G. A. F. Hendry & J. D. Houghton (Eds.), *Natural food colorants* (pp. 197-240). London: Blackie.
- Chan, R., Lok, K., & Woo, J. 2009. Prostate cancer and vegetable consumption. *Molecular Nutrition and Food Research*, 53: 201-216.
- Che Man, Y.B., Irwandi, J., & Abdullah. W.J.W. 1999. Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79: 1075-1080.
- เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Chen, B. H., & Tang, Y. C. 1998. Processing and stability of carotenoid powder from carrot pulp waste. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46: 2312-2318.
- Delgado-Vargas, F., & Paredes-López, O. 2003. *Natural colorants for food and nutraceutical uses*. Boca Raton, FLA: CRC Press.
- Desobry, S. A., Netto, F. M., & Labuza, T. P. 1997. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. *Journal of Food Science*, 62(6), 1158-1162
- Dutta, D., Chaudhuri, U. R., & Chakraborty, R. 2005. Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology*, 4: 1510-1520.
- Francis, F. J. 2000. Carotenoids as food colorants. *Cereal Foods World*, 45: 198-203.
- Furuta, T., S. Tsujimoto, M. Okazaki & R. Toei. 1983. *Drying Technology*. 2: 311-327.
- Goodwin, T.W. 1980. *The Biochemistry of the Carotenoids*, Ed 2. London: Chapman & Hall.
- Gordon, H. T., Bauernfeind, J. C., Roche, H. L., & Nutley, N. J. 1982. Carotenoids as food colorants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 18: 59-97.
- Goula, A. M., & Adamopoulos, K. G. 2005. Stability of Lycopene during spray drying of tomato pulp. *LWT - Food Science and Technology*, 38: 479-487.
- Guns, E. S., & Cowell, S. P. 2005. Drug Insight: Lycopene in the Prevention and Treatment of Prostate Cancer. *Nature Clinical Practice Urology*, 2: 38-43.
- Henry, B. S. 1996. Natural food colours. In G. A. F. Hendry & J. D. Houghton (Eds.), *Natural food colorants* (pp. 40-79). London: Blackie.
- Halliwell, B. 1990. How to characterize a biological antioxidant. *Free Radical Research Communications*, 9: 1-32.
- Halliwell, B. 1995. How to characterize an antioxidant: An update. *Biochemical Society Symposia*, 51: 73-101.
- Handelman, G.J. 2001. The evolving role of carotenoids in human biochemistry. *Nutrition* 17:818-822.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Ishida, B.K., Turner, C., Chapman M.H. and McKeon, T.A. 2004. Fatty acid and carotenoid composition of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 274-279.
- Kha, T.C., Nguyen, M.H., and Roach, P.D. 2010. Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*. 98:385–392.
- Konovalova, T. A., Kispert, L. D., Polyakov, N. E., and Leshina, T. V. 2000. EPR spin trapping detection of carbon-centered carotenoid and beta-ionone radicals. *Free Radical Biology Medicine*. 28: 1030–1038.
- Kubola, J., Meeso, N. and Siriamornpun, S. 2011. Lycopene and beta carotene concentration in aril oil of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) as influenced by aril-drying process and solvents extraction. *Food Research International*. In Press
- Kulusic, T., Radonicb, A., Katalinic, V. & Milos, M. 2004. Use of Different Methods for Testing Antioxidative Activity of Oregano Essential Oil. *Food Chemistry*, 85: 633-640.
- Lee, J.H., Ozcelik, B., & Min, D.B. 2003. Electron Donation Mechanisms of β -Carotene as a Free Radical Scavenger. *Journal of Food Science*, 68: 861-865.
- MacDonald-Wicks, L.K., Wood, L.G., Garg, M.L. 2006. Methodology for determination of biological antioxidant *in vitro*: a review. *Journal of Agriculture*, 86, 2046-2056.
- Matioli, G., & Rodriguez-amaya, D.B., 2002. Licopeno encapsulado em goma arábica e maltodextrina: Estudo da estabilidade. *Brazil Journal of Food Technology*. 5: 197–203.
- Marty, C., & Berset, C. 1990. Factors affecting the thermal degradation of all-trans-beta-carotene. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, 38: 1063–1067.
- Mignone, L. I., Giovannucci, E., Newcomb, P. A., Titus-Ernstoff, L., Trentham-Dietz, A., Hampton, J. M., et al. 2009. Dietary carotenoids and the risk of invasive breast cancer. *International Journal of Cancer*, 124: 2929-2937.
- Moon, J.K. & Shibamoto, T. 2009. Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 57, 1655-1666.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Mordi, R., Walton, J. C., Burton, G. W., Hughes, L., Ingold, K. U., Lindsay, D. A., & Moffatt, D. J. 1993. Oxidative degradation of beta-carotene and beta-apo-8'-carotenal. *Tetrahedron*, 49(4):911–928.
- Mortensen, A., and Skibsted, L. H. 1996. Kinetics of photobleaching of betacarotene in chloroform and formation of transient carotenoid species absorbing in the near infrared. *Free Radical Res.* 25: 355–368.
- Nsimba, R.Y., Kikuzaki, H., & Konishi, Y. 2008. Antioxidant activity of various extracts and fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds”, *J. of Food Chemistry*, 106: 760-766.
- Nunes, I. L., & Mercadante, A. Z. 2007. Encapsulation of lycopene using spray-drying and molecular inclusion processes. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50:893-900.
- Nhung, D.T.T., P.N. Bung, N.T. Ha, T.K. Phong. 2010. Changes in lycopene and beta carotene contents in aril and oil of gac fruit during storage. *Food Chemistry*. 121: 326–331.
- Official Methods of Analysis. 2000. 17th Ed. AOAC International, Gaithersburg, MD, Method 930.15.
- Pegg, R.B. 2005. Spectrophotometric measurement of secondary lipid oxidation products. In: Wrolstad, R.E., Acree, T.E., Decker, E.A., Penner, M.H., Reid, D.S., Schwartz, S.J., Shoemaker, C.F., Smith, D.M. and Sporns, P. (eds.), *Handbook of Food Analytical Chemistry. Water, Proteins, Enzymes, Lipids, and Carbohydrates*, 547-564. New York, NY: John Wiley & Sons, Inc.
- Pedroza-Islas, R., Vernon-Carter, E., J., Dúran-Domínguez, C., & Trejo-Martínez, S. 1999. Using biopolymer blends for shrimp feedstuff microencapsulation – I. Microcapsule particle size, morphology and microstructure. *Food Res. Int.*, 32: 367-374.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. 2007. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386-392.
- Rao, A. V., & Rao, L. G. 2007. Carotenoids and human health. *Pharmacological Research*, 55: 207-216.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Rajput, Z.I., Xiao, C.W., Hu, S.H., Habib, M., and Soomro, N.A. 2010. Enhancement of immune responses to infectious bursal disease vaccine by supplement of an extract made from *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng. Seeds. *Poultry Science* 89 :1129–1135.
- Rascón, M.P., Beristain, C.I., García, H.S., & Salgado, M.A. 2011. Carotenoid retention and storage stability of spray-dried encapsulated paprika oleoresin using gum Arabic and Soy protein isolate as wall materials. *J. of Food Science and Technology*, 44: 549-557.
- Ribeiro, H.S., Schuchmann, H.P., Engel, R., Walz, E., & Briviba, K. 2010. Encapsulation technologies for active food ingredients and food processing. Springer Science+Business Media, LLC.
- Roberts, R. L., Green, J., & Lewis, B. 2009. Lutein and zeaxanthin in eye and skin health. *Clinics in Dermatology*, 27(2), 195-201.
- Robertson, G. L. 2006. Food packaging: Principles and practice 2nd Ed. Boca Raton, FLA: Taylor & Francis.
- Rocha, G.A., Fávaro-Trindade, C.S., and Ferreira Grosso, C. R. 2011. Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*. In Press, Corrected Proof.
- Rodríguez-Huezo, M. E., Pedroza-Islas, R., Prado-Barragán, L. A., Beristain, C. I., & Vernon-Carter, E. J. 2004. Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions carotenoids. *Journal of Food Science*, 69: E351-E359.
- Ruberto, G., & Baratta, M. T. 2000. Antioxidant activity of selected essential oil components in two lipid model systems. *Journal of Food Chemistry*, 69: 167–174.
- Shahidi F. & Ho C-T. 2000. *Phytochemicals and phytopharmaceuticals*. Champaign, IL: ACS Press.
- Shahidi & Han. 1993. Encapsulation of food ingredients. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 33: 501–547.
- Sheu, T. Y., & Rosenberg, M. 1998. Microstructure of microcapsules consisting of whey proteins and carbohydrates. *Journal of Food Science*, 63: 491-494.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 76(4), 664-669.
- Singh, R. P. 2000. Scientific principles of shelf life evaluation. In C. M. D. Man & A. A. Jones (Eds.), *Shelf life evaluation of foods* (pp.3-22). Gaithersburg, MD: Aspen.
- Singh, R., Singh, N., Saini, B.S. & Singh R. H.. 2008. In vitro Antioxidant Activity of Pet Ether Extract of Black Pepper. *Indian Journal of Phamacology*, 40: 147-151.
- Stahl, W., & Sies, H. 2003. Antioxidant Activity of Carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24: 345-351.
- Strobel, M., Tinz, J., & Biesalski, H. K. 2007. The importance of β -carotene as a source of vitamin A with special regard to and breastfeeding women. *European Journal of Nutrition*, 46: 1-20.
- Szente, L., & Szejtli, J. 2004. Cyclodextrins as food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 15: 137-142.
- Szente, L., Mikuni, K., Hasimoto, H., & Szejtli, J. 1998. Stabilization and solubilization of lipophilic natural colorants with cyclodextrins. *Journal of Inclusion Phenomena and Molecular Recognition in Chemistry*, 32: 81-89.
- Tran, T. H., Nguyen, M. H., Zabaras, D., & Vu, L. T. T. 2008. Process development of gac powder by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 85: 359-365.
- Vuong, L.T., Dueker, S.R., and Murphy, S.P. 2002. Plasma β -carotene and retinol concentrations of children increase after a 30-d supplementation with the fruit *Momordica cochinchinensis* (gac). *The American Journal of Clinical Nutrition*. 75: 872-9.
- Vuong, L.T., Franke A.A., Custer, L.J. and Murphy, S.P. 2006. *Momordica cochinchinensis* Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated. *Journal of Food Composition and Analysis*. 19: 664-668.
- Wagner, L. A., & Warthesen, J. J. 1995. Stability of spray dried encapsulated carrot carotenes. *Journal of Food Science*, 60: 1048-1053.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

West, C.E. and Poortvliet, E.J. 1993. The carotenoid content of foods with special reference to developing countries. USAID VITAL, Washington, DC.

Xiao, C., Bao, G., and Hu, S. 2009. Enhancement of immune responses to Newcastle disease vaccine by a supplement of extract of *Momordica cochinchinensis* (Lour.) Spreng. Seeds. *Poultry Science* 88 :2293–2297.

Zhu, X., Xu, S.Y., Wang, Z. 1998. Gelatin as microencapsulating agents for B-carotene. *Food and Fermentation Industries*, 24, 11–15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

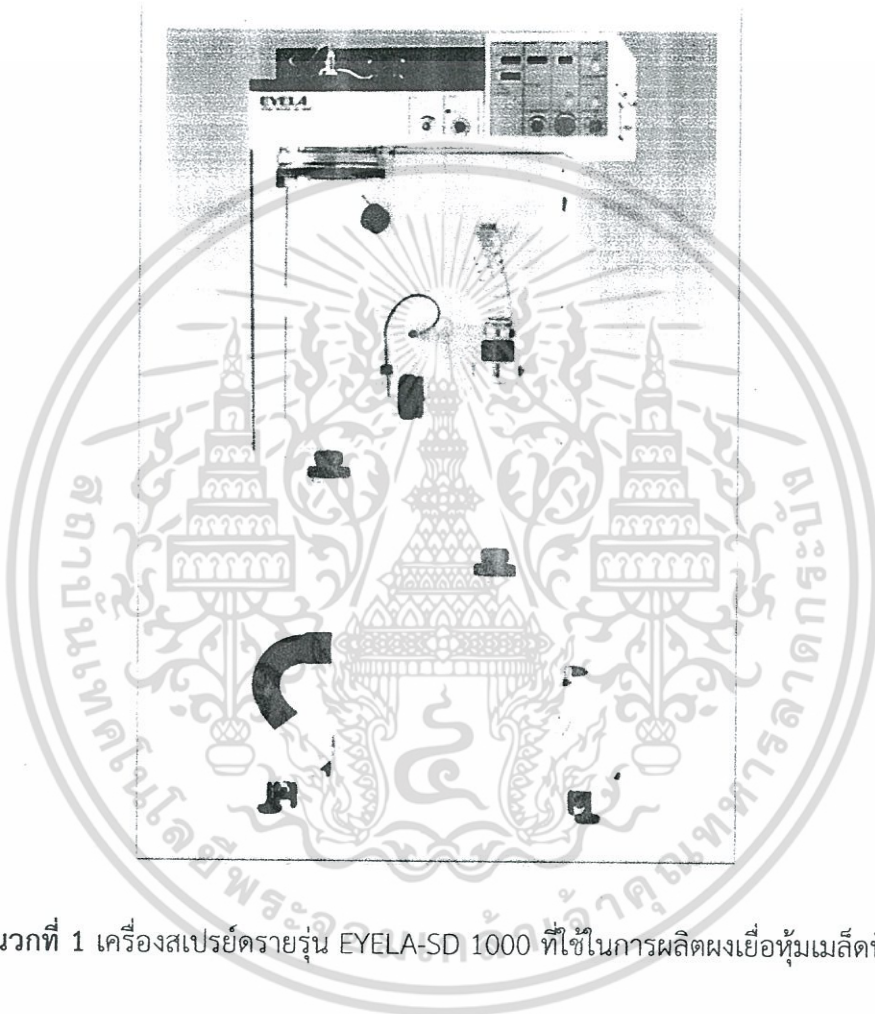


ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

เครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการเอนแคปซูเลชันเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว
โดยการทำแห้งแบบฟุ้งฝอย

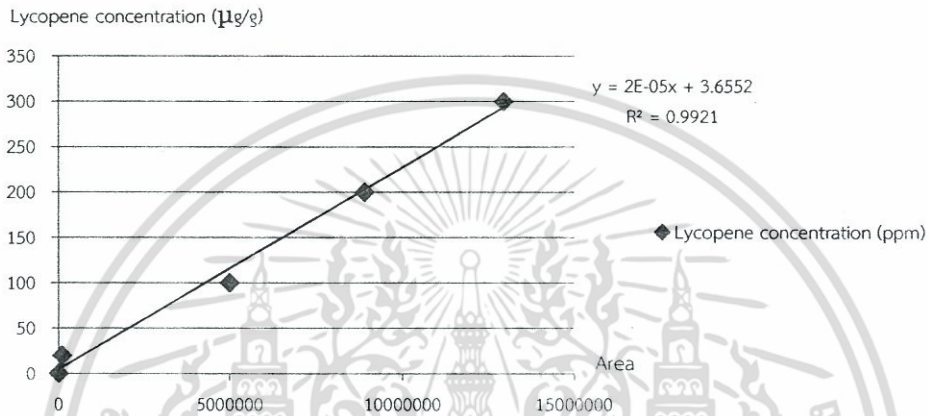


ภาพผนวกที่ 1 เครื่องสเปรย์ดรายรุ่น EYELA-SD 1000 ที่ใช้ในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดฟักข้าว

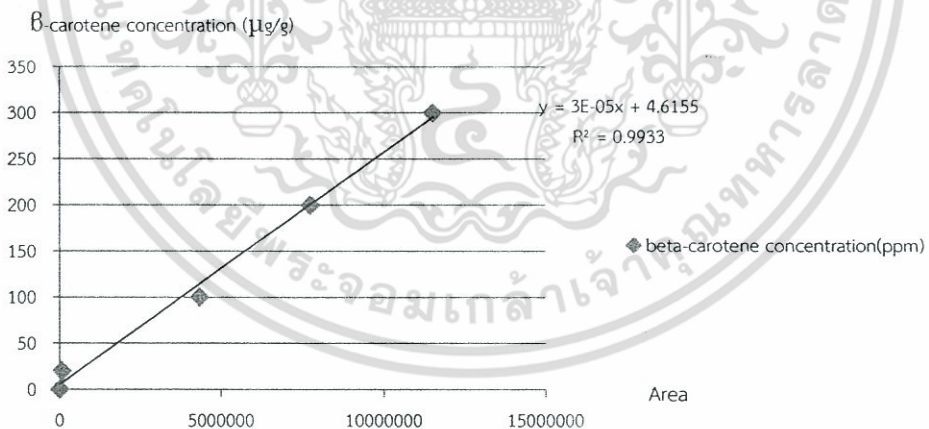
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

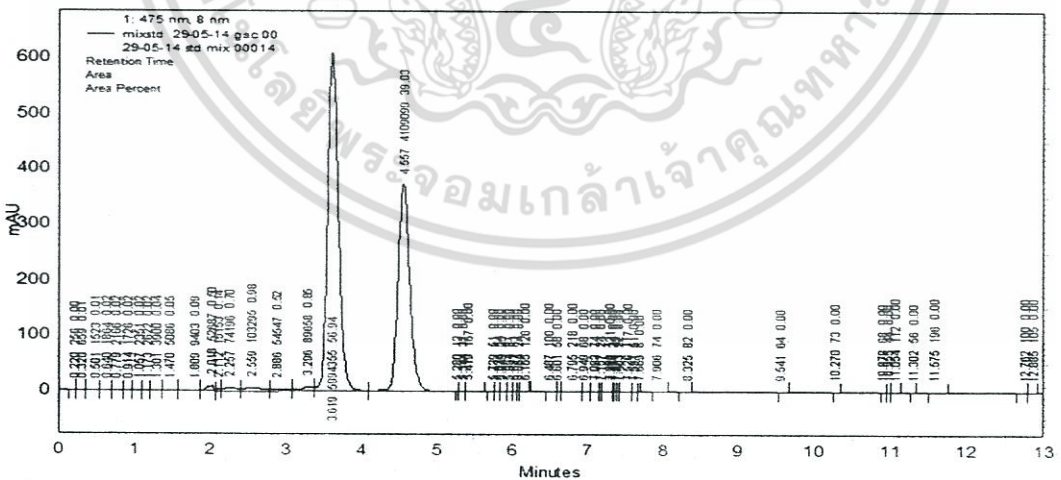
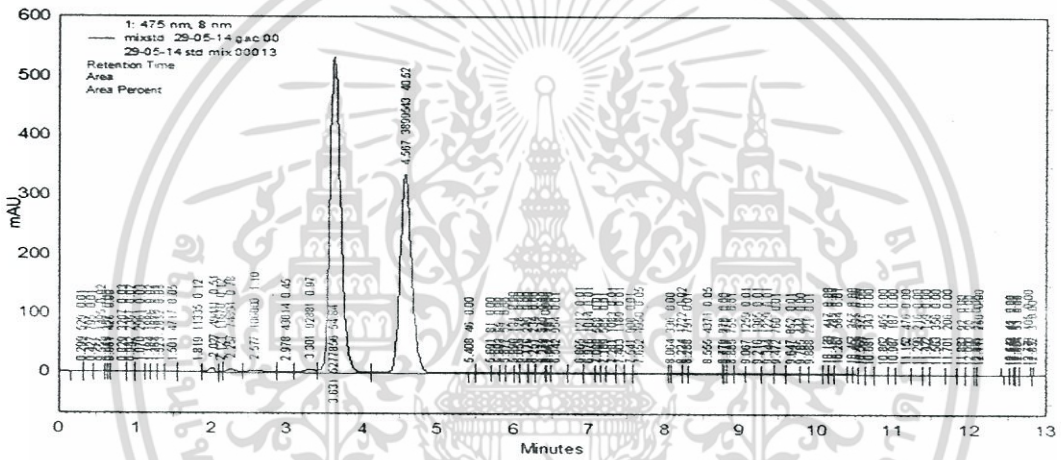
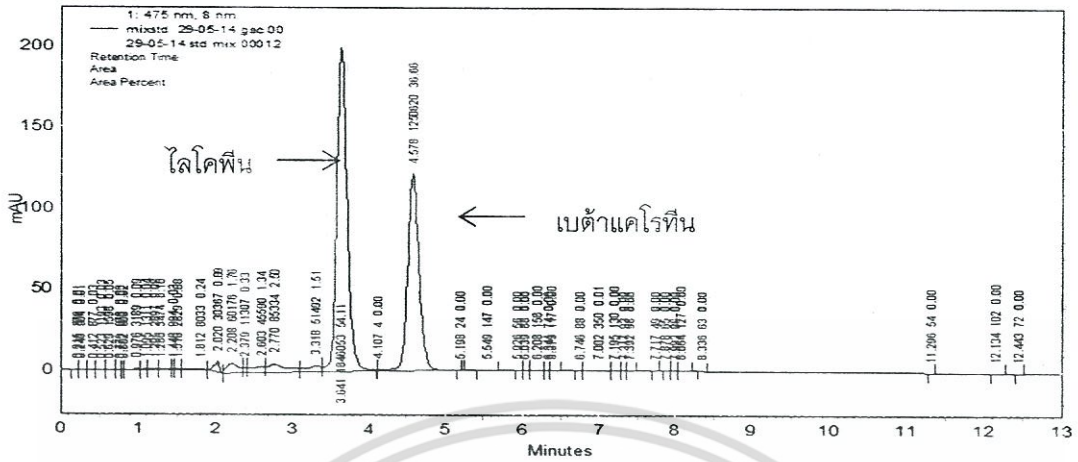
กราฟมาตรฐานและโครมาโตแกรมที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณไลโคปีน และเบต้าแคโรทีนด้วยเทคนิค HPLC



ภาพผนวกที่ 2 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของไลโคปีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ



ภาพผนวกที่ 3 กราฟมาตรฐานความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ



ภาคผนวก ค

ผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Microencapsulation of Gac Aril Using β -cyclodextrin as Wall Material

PIYAWAN YOUDEE, and Varipat Areekul.

¹Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Abstract

Gac aril was isolated from the fully-ripe gac fruit (*Momordica cochinchinensis* Spreng.). Among the natural pigments in gac aril, carotenoids are classified to be major constituents, especially lycopene and β -carotene. However, carotenoids are very sensitive to oxidation, light and heat, leading to deterioration. So, microencapsulation can be an effective method to improve stability of these pigments. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of β -cyclodextrins concentrations and different inlet drying air temperatures on the encapsulation of gac aril using spray drying technique. 1% w/v gac aril was added to three different concentrations of β -CDs solution (3, 5 and 7%w/v). After that, the coarse emulsions were homogenized and twice filtered. In addition, the filtrate was spray-dried with different inlet drying air temperatures (125, 135 and 145°C). After that, the spray-dried gac powder was analyzed for moisture content (MC), water activity (a_w), total carotenoids content (TCC), encapsulation efficiency (EE), and encapsulation yield (EY). The result indicated that MC, a_w , TCC and EE were significantly affected by both β -CDs concentration and the inlet drying air temperatures ($p < 0.05$). When β -CDs concentration and the inlet drying air temperature were increased, lower in MC and a_w were found. Further, TCC decreased from 128.80 mg/100 g to 87.02 mg/100 g of powder as the β -CD concentration increased from 3% to 7% ($p < 0.05$) and significant greater loss of TCC was observed at higher temperature, and the decrease in EE was also found from 90.70% to 54.42%. Furthermore, a significant difference in EY was observed between 3 and 7% β -CDs. In addition, EY was significantly affected by inlet air drying temperature ($p < 0.05$). In summary, the most suitable condition for microencapsulation of gac aril was 3% β -CDs solution and inlet drying air temperature of 135 °C.

Keywords: Gac aril, microencapsulation, β -cyclodextrin, carotenoids

Introduction

Gac fruits (*Momordica cochinchinensis* Spreng), a tropical plant, is classified in the Cucurbitaceae family and has been used as food and traditional medicine in southeast Asia for a long time. As a medicinal plant, gac fruit aril is a very good source of bioaccessible carotenoids. Several scientific evidences confirmed gac fruit aril contains a high level of lycopene and β -carotene (Tran *et al.*, 2008). Moreover, it was revealed that the consumption of both carotenoids can promote health and prevent human diseases, for example, cardiovascular diseases and cancers (Young & Lowe, 2001). Carotenoid structure contains isoprenoid rings which lead to many physical, chemical and biological properties (Cao-Hoang & Waché, 2009). In addition, their conjugated double bond arrangements confer their antioxidant property. Therefore, they can act as particular food colorants and provitamin A, as well as anti-carcinogens, anti-mutagens and anti-oxidants agent. However, carotenoids are susceptible to light, heat, moisture and oxidation. Therefore, optimization of processing conditions might be considered to prevent carotenoids from oxidation and isomerization, and also to improve their solubility to achieve favorable bioavailability.

Microencapsulation has been widely used to entrap functional compounds in a carrier protecting them against deterioration. The mechanism is to form a membrane (wall material or carrier) enclosing droplets (core material). So, the sort of carrier and encapsulation techniques can protect the particles from surroundings. In food industry, microencapsulation such as solvent dispersion, co-crystallization, interfacial polymerization and spray drying is one of the most effective techniques to protect food ingredients. However, spray-drying, is the most common method for food industry because of its shorter process and lower cost in comparison with other methods. Encapsulation of carotenoids by spray-drying has been reported: paprika oleoresin (Beatus *et al.*, 1985); carrot carotenes (Wagner *et al.*, 1995); and pure beta carotene (Dersobry *et al.*, 1997).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Many carriers such as modified starch, sodium caseinate, maltodextrin, etc. are applied, nevertheless, each carrier has advantages and disadvantages for its cost and encapsulation efficiency. β -cyclodextrin (β -CDs) can be a good one as carrier because of the capability of cyclodextrins to form inclusion complexes with a wide variety of core materials and, specifically, with carotenoids is known (Basu & Del Vecchio, 2001). In particular, associations of CDs with β -carotene/lycopene have been published by Mele, Mendichi, & Selva (2002). The 3 different wall materials have their own characteristics that may affect different encapsulation efficiency. Therefore, the objective of this study is to develop a spray-drying method for microencapsulation of gac fruit aril using B-CDs as carrier and to characterize the microcapsules in terms of physico-chemical properties.

Materials and Methods

Sample preparation

Ripe fresh gac fruits of similar sizes were purchased from Kanchanaburi province. Then, gac aril was separated and then twice filtered. After that, the gac aril was stored in the darkness at -20°C for further studies.

Wall and core materials

Wall material used as edible B-CDs (Wagger W7, Germany). Core material used here was 1% gac fruit aril separated from fresh gac fruits.

Preparation of emulsions and spray drying

The preparation of emulsions used for spray-drying was similar to the report described by Zhu *et al.* (1998). β -CDs powder was dissolved in hot distilled water, being stirred, to form an aqueous solution of 3 different concentrations (3, 5 and 7%). Gac aril (1%) was added into the β -CDs solution by stirring. The coarse emulsion was then homogenized in a Wisetis[®] HG-15D homogenizer (Daihan Scientific, Korea) to form a homogenous emulsion under a certain homogenization pressure. The formed emulsion was then spray-dried with 3 different inlet drying air temperatures (125, 135 and 145°C) on a Model Eyela SD-1000 Spray Dryer (Tokyo Rikakikai Co., LTD, Japan) equipped with a spray-drying chamber with dimensions of 150 cm height and 80 cm diameter, a two-way nozzle atomizer, a cyclone separator, plus a hot air blower and an exhaust blower. The emulsion was fed at 12 - 15 ml/min into the chamber, atomized by the hot air from blower in a co-current flow mode and the spray-dried microcapsules were collected in the cyclone separator driven by the exhaust blower.

Analysis of encapsulated gac seed powder

Moisture content

The moisture content was determined by drying at the temperature of 105°C in the hot air oven until a constant weight was obtained (AOAC International, 2000).

Water activity

A water activity meter (A_w Sprint TH 500, Novasina, Switzerland) was used to measure a_w .

Determination of total carotenoid content

An extraction method described by Tran *et al.* (2008) was employed, with some modifications. Approximately 0.1 g of gac sample was weighted and then extracted with 10 ml of a mixture of n-
เอทิลอะซิเตต:เฮกเซน:เมทานอล (1:1:1) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วนำสารสกัดไปวัดค่า

ไม่ต่ำกว่า 0.1 g ทุกครั้ง อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hexane: acetone (v/v 3:2) and further extracted four times using a magnetic stirrer until colourless. The extracts were washed with 25 mL of distilled water twice in a separating funnel. The upper layer was collected to spectrophotometrically measured at 473 nm. The process was conducted under dim light and immediately analyzed. Total carotenoid content expressed based on beta carotene equivalents (mg/g powder).

Encapsulation efficiency (EE)

A method described by Shu *et al.* (2006) was employed with some modifications. The EE (%) was determined as the ratio between the initial total carotenoids content before spray drying and the final content in gac aril powder (mg/ g powder).

Encapsulation Yield (EY)

The EY (%) was calculated as the ratio of the mass of microcapsules obtained at the end of the process and the mass of initial substances added. (Che Man *et al.*, 1999).

Statistical analysis

The experiments were carried out in duplicate and all results were presented as mean values with standard deviations. Different mean values were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test.

Results and Discussion

Effects of spray drying conditions on the physicochemical properties of gac aril powder

The effects of β -CDs concentration and different inlet drying air temperatures on the physicochemical properties of gac aril powder are shown in Table 1 and Table 2. The results showed that an increase in inlet drying air temperature and β -CDs concentration resulted in a significant decrease in moisture content of the samples ($p < 0.05$). When β -CDs concentrations increased at the same temperature, MC of the samples tended to reduce. In general, higher heat transfer rate in particles occurs when increasing air inlet drying temperature, resulting in faster moisture removal and greater loss of water in the powder. Similar to Goula *et al.* (2004), the moisture content in tomato, orange juice, cactus pear juice or black carrot powder were decreased when air inlet drying temperature increased. Moreover, an increase of β -CDs can cause higher feed solids and lower moisture for evaporation.

In addition, the a_w of powders decreased with increase both inlet drying air temperature and β -CDs concentration (Table 2). These results for a_w were in contrast to those obtained Quek *et al.* (2007) who suggested that the a_w of spray-dried water melon powders was not significantly changed by inlet temperatures of between 145°C and 175 °C but higher concentration of wall materials could result in decrease in the a_w of the powder.

Table 1 Moisture content (%) of spray-dried gac aril powders

Factors	β-CDs concentration (%)			
	3	5	7	
Inlet drying air temperature (°C)	125	3.96±0.25 ^{a,A}	3.73±0.20 ^{b,A}	3.39±0.12 ^{c,A}
	135	3.53±0.18 ^{a,B}	3.33±0.07 ^{b,B}	3.35±0.09 ^{b,A}
	145	3.17±0.14 ^{nd,C}	3.10±0.09 ^{nd,C}	3.18±0.22 ^{nd,B}

Values are mean ± SD

The values in the same column followed by different superscripts (A-C) were significantly different ($p < 0.05$).

nd means no significant difference in the same row

Table 2 Water activity of spray-dried gac aril powders

Factors	B-CDs concentration (%)			
	3	5	7	
Inlet drying air temperature (°C)	125	0.301±0.005 ^{a,A}	0.282±0.006 ^{b,A}	0.256±0.002 ^{c,A}
	135	0.268±0.004 ^{a,B}	0.256±0.002 ^{b,B}	0.255±0.007 ^{b,A}
	145	0.228±0.006 ^{nd,C}	0.221±0.004 ^{nd,C}	0.226±0.006 ^{nd,B}

Values are mean ± SD

The values in the same column followed by different superscripts (A-C) were significantly different ($p < 0.05$).

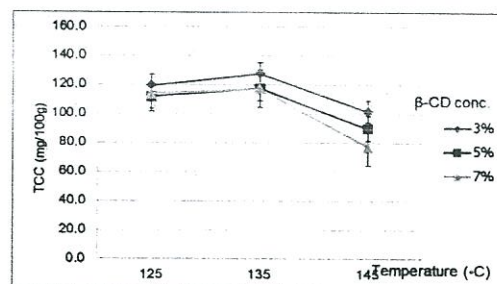
nd means no significant difference in the same row

Effect of spray drying conditions on the total carotenoid content and encapsulation efficiency

The total carotenoid content (TCC) and encapsulation efficiency (EE) of the gac aril powder as a result of different spray drying conditions are presented in Figs. 1 and 2, respectively. The TCC in powder samples were reduced from 128.80 to 87.02 mg/100 g of powder as the β-CDs concentration increased ($p < 0.05$). Additionally, the inlet drying air temperature also affected TCC. A significant lowering of TCC in samples was observed at 145°C ($p < 0.05$). Quek *et al.* (2007) observed a decrease in lycopene and β-carotene content of spray dried water melon powder occurred when increasing the inlet drying air temperature due to thermal degradation and oxidation. Moreover, the sensitivity to thermal treatment and oxidation is due to their conjugated double bond (Britton, 1995).

The EE of samples was also significantly influenced by β-CDs concentration and drying temperature ($p < 0.05$). The increase of β-CDs concentration caused the decrease in EE due to the instability of emulsion, since the emulsion can be delaminated when the proportion of core/wall materials is inappropriate (Shu *et al.*, 2006).

The effect of inlet drying air temperature was also pronounced. It is suggested that increasing temperature leads to the reduction of EE because of the greater degradation of carotenoids at higher temperature. Shu *et al.* (2006) stated that high inlet temperature may break the balance between the rate of water evaporation and film-formation; therefore, structure of microcapsules is broken down, leading to low EE.

**Fig. 1 Total carotenoid content of spray-dried powders at different drying conditions.**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในโอกาสพิเศษเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นชอบที่จะใช้เอกสารนี้ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

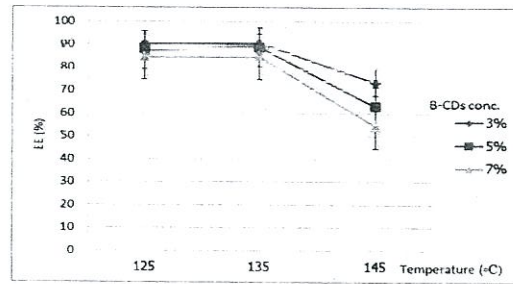


Fig. 2 Encapsulation efficiency of spray-dried powders at different drying conditions.

Effect of spray drying conditions on the total carotenoid content and encapsulation yield

The effects of β -CDs concentrations and different inlet drying air temperatures on the encapsulation yield of gac aril powder are shown in Table 3. The average EY obtained was ranged between 71.06–76.96%. The highest EY was obtained at the lowest β -CDs concentration in all temperatures. These results are consistent with Blanch *et al.* (2007), who reported low concentration provided the best encapsulation yield.

Table 3 Encapsulation yield of spray-dried gac aril powders.

Factors	B-CDs concentration (%)			
	3	5	7	
Inlet drying air temperature (°C)	125	74.10±1.21 ^{a,ND}	72.48±0.44 ^{b,ND}	71.06±1.12 ^{b,ND}
	135	76.96±2.00 ^{a,ND}	73.55±0.35 ^{b,ND}	72.41±1.21 ^{b,ND}
	145	74.20±1.72 ^{a,ND}	72.30±0.76 ^{b,ND}	71.15±1.26 ^{b,ND}

Values are mean \pm SD

The values in the same row followed by different superscripts (a,b) were significantly different ($p < 0.05$). ND means no significant difference in the same column

In summary, the appropriate condition for microencapsulation of gac fruit aril was 3% β -CDs solution and inlet drying air temperature of 135 °C, at which the gac fruit aril powder showed the highest values of TCC, EE and EY. Microencapsulation of gac aril with β -CDs could be used to make a higher quality product and would be more attractive to apply in functional food products.

References

- AOAC International. (2000). Official Methods of Analysis. 17th ed. AOAC Int., Gaithersburg, MD.
- Beatus, Y., Razie, I. A., Rosenberg, M., & Kopelman, I.J. (1985). Spraydrying Microencapsulation of Paprika Oleoresin. *Lebensmittel Wissenschaft Technology*, 18, 28–34.
- Basu, H. N., & Del Vecchio, A. (2001). Encapsulated carotenoid preparations from high-carotenoid canola oil and cyclodextrins and their stability. *Journal of American Oil Chemist Society*, 78, 375–380.
- Blanch, G. P., del Castillo, M. R., Mercedes, P., Santiago, S., & del Mar Caja, M. (2007). Stabilization of all-trans-lycopene from tomato by encapsulation using cyclodextrins. *Journal of Food Chemistry*, 105, 1335-1341.
- Britton, G. (1995). Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Journal of Federation of American Societies for Experimental Biology*, 9(15), 1551–1558.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Cao-Hoang, L., & Waché, Y. (2009). Carotene dispersion in liquid media. In L. Haugen, & T. Bjornson (Eds.), *Beta-Carotene: Dietary Sources, Cancer, and Cognition* (pp. 283–298). New York: Novapublishers.
- Che Man, Y.B., Irwandi, J., & Abdullah, W.J.W. (1999). Effect of different types of maltodextrin and drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian flavor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (8), 1075-1080.
- Desobry, S., Nett, F., & Labuza, T. (1997). Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for β -carotene encapsulation and preservation. *International Journal of AVIAN Science*, 62, 1158–1162.
- Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., & Kazakis, N.A. (2004). Influence of spray drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22 (5), 1129–1151.
- Mele, A., Mendichi, R., Selva, A., Molnar, P., & Toth, G. (2002). Noncovalent associations of cyclomaltooligosaccharides (cyclodextrins) with carotenoids in water. A study on the α - and β -cyclodextrin/ α -carotene (lycopene) systems by light scattering, ionspray ionization and tandem mass spectrometry. *Carbohydrate Research*, 337, 1129–1136.
- Quek, S.Y., Chok, N.K., & Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spraydried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46, (5), 386–392.
- Shu, B., Yu, W., Zhao, Y., & Liu, X. (2006). Study on microencapsulation of lycopene by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 76 (4), 664–669.
- Tran, T.H., Nguyen, M.H., Zabarar, D., & Vu L.T.T. (2008). Process development of Gac powder by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 85(3), 359–365.
- Wagner, L., & Warthesen, J. (1995). Stability of Spray-Dried Encapsulated Carrot Carotenes, *Journal of Food Science*, 60, 1048–1053.
- Young, A.J., & Lowe, G.M. (2001). Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 385(1), 20–27.
- Zhu, X., Xu, S.Y., & Wang, Z. (1998). Gelatin as microencapsulating agents for B-carotene. *Food and Fermentation Industries*, 24, 11–15.

Microencapsulation of Gac Aril Using Gelatin as Carrier

¹Piyawan Youdee * and ¹Varipat Areekul

¹Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

* Corresponding author: piyawanyoudee@gmail.com

Abstract

Gac fruit aril, an attractive intense red-colored characteristic, has very high level of carotenoids, dominantly lycopene and beta carotene, giving its particular antioxidant properties. However, carotenoids are susceptible to oxidants, light and heat, resulting in deterioration. Microencapsulation can be an alternative technique to enhance stability of these particular pigments. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effects of gelatin concentration and inlet drying air temperatures on the encapsulation of gac aril using spray drying technique. Initially, the red aril was separated from matured gac fruits, 1% gac aril with three different concentrations of gelatin solution (3.0, 4.5 and 6.0%). Then, the coarse emulsions were homogenized and filtered. After that, the filtrate was spray-dried with different inlet drying air temperatures (125, 135 and 145°C). Moisture content (MC), water activity (a_w), total carotenoids content (TCC), encapsulation efficiency (EE), and encapsulation yield (EY) were significantly affected by gelatin concentration and the inlet drying air temperatures ($p < 0.05$). When gelatin concentration and the inlet drying air temperature increased, lower in MC and a_w were found. Further, TCC reduced from 0.334 mg/g to 0.078 mg/g of powder as the gelatin concentration increased from 3.0% to 6.0% ($p < 0.05$) and significant greater loss of TCC was observed at higher temperature, and the decreasing of EE was also found from 56.31% to 3.17%. Meanwhile, no significant difference in EY was obtained between 3.0% and 4.5% gelatin, but at 6% gelatin EY was the lowest. In addition, EY were insignificantly affected by inlet air drying temperature ($p \geq 0.05$). In conclusion, the appropriate condition for microencapsulation of gac aril was 3.0% gelatin solution and inlet drying air temperature of 125 °C.

Keywords: *Gac aril, microencapsulation, gelatin, carotenoids*

Introduction

Gac fruits (*Momordica cochinchinensis* Spreng), a tropical plant, is classified in the Cucurbitaceae family and has been used as food and traditional medicine in Southeast Asia for a long time (Iwamoto and others, 1985). As a medicinal plant, gac fruit aril is a very good source of bioaccessible carotenoids. Several scientific studies confirmed gac fruit aril contains a high level of lycopene and beta carotene (Tran and others, 2008). Moreover, researches revealed that the consumption of both carotenoids can reduce the risk of several diseases, for example, cardiovascular diseases and cancers (Young & Lowe, 2001). Carotenoid structure contains isoprenoid rings which lead to many physical, chemical and biological properties (Cao-Hoang & Waché, 2009). In addition, their conjugated double bond arrangements confer them exhibiting anti-oxidant properties. Thus, they can play an important role as particular food colorants and provitamin A, as well as anti-carcinogens, anti-mutagens and anti-oxidants. However, carotenoids can be dramatically degraded due to light, heat, moisture and oxidation. Therefore, optimization of processing conditions might be

43 considered to prevent carotenoids from oxidation and isomerization, and also to improve their
44 solubility to achieve favorable bioavailability.

45 Encapsulation has been widely used to entrap functional compounds in a carrier
46 protecting them against deterioration. The mechanism is to form a membrane (wall material
47 or carrier) enclosing droplets (core material). So, the sort of carrier and encapsulation
48 techniques can protect the particles from environments. In food industry, microencapsulation
49 such as solvent dispersion, co-crystallization, interfacial polymerization and spray drying is
50 one of the most effective techniques to protect food ingredients. However, spray-drying, is
51 the most common method for food industry because of its shorter process and lower cost in
52 comparison with other encapsulation methods. Encapsulation of carotenoids by spray-drying
53 has been reported: paprika oleoresin in 15-dextrose equivalent (DE) maltodextrin, arabic
54 gum, and sodium caseinate (Beatus and others, 1985); carrot carotenes in maltodextrin of
55 different DE (Wagner and others, 1995); and pure beta carotene in 25DE maltodextrin
56 (Dersobry and others, 1997).

57 Many carriers such as modified starch, Arabic gum and maltodextrin can be applied,
58 nevertheless, each carrier has advantages and disadvantages for its cost and encapsulation
59 efficiency. Gelatin can be a good choice as carrier because of availability and low cost as
60 well as good properties of emulsification, water solubility, edibility and biodegradation.
61 (Bruschi and others, 2003). The mixture of gelatin and sucrose has been used for beta-
62 carotene microencapsulation (Zhu and others, 1998). Moreover, Chen and others (2007)
63 reported the encapsulation of lycopene extract from tomato pulp waste using of 4.5% gelatin,
64 10% γ -PGA, and 4.8% lycopene extract. In addition, Bo and others (2006) studied the
65 microencapsulation of lycopene by spray-drying using gelatin and sucrose as carrier, the ratio
66 of gelatin/sucrose of 3/7 and the ratio of core/wall material of 1/4 gave the best encapsulation
67 yield (EY) and encapsulation efficiency (EE) at 91.2% and 81.6%, respectively. Therefore,
68 the objective of this study is to develop a spray-drying method for production of gac fruit aril
69 microcapsules using gelatin as carrier and to characterize the microcapsules in terms of
70 physicochemical properties.

71 **Materials and Methods**

72 **Sample preparation**

73 Mature fresh gac fruits of similar sizes were purchased from Kanchanaburi province.
74 Only the red aril was scooped out from gac fruit, then, sifted the gac fruit aril through the
75 sieve with 1 mm size, packed in plastic bottles and kept at -20° C for further studies.

76 **Wall and core materials**

77 Wall material used as edible gelatin (Bloom 150, Cartino Gelatin, Thailand). Core
78 material used here was 1% gac fruit aril separated from fresh gac fruits.

79 **Preparation of emulsions and spray drying**

80 The preparation of emulsions used for spray-drying were similar to the report
81 described by Zhu and others, (1998). Gelatin powder was dissolved in hot distilled water,
82 being stirred, to form an aqueous solution of 3 different concentrations (3.0, 4.5 and 6.0%).

83 Gac aril (1%) was added into the gelatin solution by stirring to form a coarse emulsion. The
 84 coarse emulsion was then homogenized in a Wisetis® HG-15D homogenizer (Daihan
 85 Scientific, Korea) to form a homogenous emulsion under a certain homogenization pressure.
 86 The formed emulsion was then spray-dried with 3 different inlet drying air temperatures (125,
 87 135 and 145°C) on a Model Eyela SD-1000 Spray Dryer (Tokyo Rikakikai Co., LTD, Japan)
 88 equipped with a spray-drying chamber with dimensions of 150 cm height and 80 cm
 89 diameter, a two-way nozzle atomizer, a cyclone separator, plus a hot air blower and an
 90 exhaust blower. The emulsion was fed at 12 - 15 ml/min into the chamber, atomized by the
 91 hot air from blower in a co-current flow mode and the spray-dried microcapsules were
 92 collected in the cyclone separator driven by the exhaust blower.

93 **Analysis of encapsulated gac seed powder**

94 **Moisture content**

95 The moisture contents were determined by drying at the temperature of 105 °C in the
 96 hot air oven until a constant weight was obtained.

97 **Water activity**

98 A water activity meter (A_w Sprint TH 500, Novasina, Switzerland) was used to
 99 measure a_w .

100 **Determination of total carotenoid content**

101 An extraction method described by Tran and others (2008) was employed, with some
 102 modifications, to extract the carotenoid content from the gac samples. Approximately 0.1 g of
 103 gac sample was weighted and then extracted with 10 mL of a mixture of n-hexane: acetone
 104 (v/v 3:2) and further extracted four times (each time with 5 mL of the solvent) using a
 105 magnetic stirrer until colourless. The extracts were combined and washed each time with 25
 106 mL of distilled water twice to remove acetone in a separating funnel. The upper layer was
 107 collected to measure total carotenoid content. The process was conducted under dim light and
 108 immediately analyzed.

109 Total carotenoid content of the gac fruit aril powders was spectrophotometrically
 110 measured at 473 nm and expressed based on beta carotene equivalents (mg/g powder).

111 **Encapsulation efficiency (EE)**

112 A method described by Shu and others (2006) was employed with some
 113 modifications, to calculate encapsulation efficiency. The EE (%) was determined as the ratio
 114 between the initial total carotenoids content before spray drying and the final content in gac
 115 aril powder (mg/ g powder).

116 **Encapsulation Yield (EY)**

117 The EY (%) was calculated as the ratio of the mass of microcapsules obtained at the
 118 end of the process and the mass of initial substances added. (Che Man and others, 1999).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



119 Statistical analysis

120 The experiments were carried out in duplicate and all results were presented as mean
121 values with standard deviations. Different mean values were analyzed by analysis of variance
122 (ANOVA) and Duncan's multiple range test.

123 Results and Discussion

124 Effects of spray drying conditions on the physicochemical properties of gac aril powder

125 The effects of gelatin concentrations and different inlet drying air temperatures on the
126 physicochemical properties of gac aril powder are shown in Table 1 and Table 2. The results
127 showed increasing in inlet drying air temperature and gelatin concentration resulted in a
128 significant decreasing moisture content of the samples ($p < 0.05$). The moisture content of
129 samples significantly reduced while increasing inlet drying air temperatures from 125 to 145
130 °C, tended to reduce the final moisture content ($p < 0.05$). When gelatin concentrations
131 increased from 3.0% to 6.0% at the same temperature, no significant difference in moisture
132 content was observed.

133 In general, higher heat transfer rate in particles occurs when increasing air inlet drying
134 temperature causes faster moisture removal, resulted in greater loss of water of the powder.
135 Similar to Goula and others (2004), Chegini and others (2005), Rodríguez-Hernández and
136 others (2005), and Ersus and Yurdagel (2007), the results demonstrated that the moisture
137 content in tomato powder, orange juice powder, cactus pear juice powder and black carrot
138 powder, respectively, decreased when air inlet drying temperature increased.

139 In addition, the a_w of powders decreased with increasing both inlet drying air
140 temperature and gelatin concentration (Table 2). These results for a_w were opposed to Quek
141 and others (2007) who suggested that the a_w of spray-dried water melon powders was not
142 significantly changed by inlet temperatures of between 145°C and 175 °C but higher
143 concentration of wall materials could result in decrease in the a_w of the powders.

144 Table 1 Moisture content (%) of spray-dried gac aril powders

Factors		Gelatin concentration (%)		
		3.0	4.5	6.0
Inlet drying air temperature (°C)	125 ND	8.57±0.32 ^a	7.61±0.28 ^a	7.53±0.14 ^a
	135 ND	6.34±0.46 ^b	6.97±0.13 ^b	6.98±0.12 ^b
	145 ND	6.30±0.05 ^b	6.67±0.12 ^b	6.51±0.17 ^b

145 Values are mean ± SD

146 The values in the same column followed by different superscripts (a,b) were significantly different ($p <$
147 0.05).

148 ND means no significant difference in the same row

149

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Table 2 Water activity of spray-dried gac aril powders

Factors		Gelatin concentration (%)		
		3.0	4.5	6.0
Inlet drying air temperature (°C)	125 ND	0.454±0.002 ^a	0.426±0.002 ^a	0.357±0.004 ^a
	135 ND	0.289±0.005 ^b	0.291±0.004 ^b	0.305±0.005 ^b
	145 ND	0.254±0.003 ^b	0.285±0.003 ^b	0.272±0.005 ^b

Values are mean ± SD

The values in the same column followed by different superscripts (a,b) were significantly different ($p < 0.05$).

ND means no significant difference in the same row

Effect of spray drying conditions on the total carotenoid content and encapsulation efficiency

The total carotenoid content (TCC) and encapsulation efficiency (EE) of the gac aril powder as a result of different spray drying conditions are presented in Figs. 1 and 2, respectively. The TCC in powder samples reduced from 0.334 to 0.276 mg/g of powder as the gelatin concentration increased from 3.0 to 6.0% ($p < 0.05$). Additionally, the inlet drying air temperature also affected TCC. A significant loss of TCC in samples was observed as temperature increased from 125°C to 145°C ($p < 0.05$). Quek and others (2007) observed a decrease in lycopene and beta carotene content of spray dried water melon powder occurred when increasing the inlet drying air temperature due to thermal degradation and oxidation. Moreover, the sensitivity to thermal treatment and oxidation is due to their conjugated double bond (Britton, 1995).

The EE of samples was also significantly influenced by gelatin concentration and drying temperature ($p < 0.05$). The increase of gelatin concentration can cause the decrease in EE due to the instability of emulsion, since the emulsion can be delaminated when the proportion of core/wall materials is inappropriate (Shu and others, 2006).

The effect of inlet drying air temperature also pronounced. A similar pattern to the TCC loss from the increase of inlet drying air temperatures was related to EE. It is suggested that increasing temperature leads to the reduction of EE because of the greater degradation of carotenoids at higher temperature. Shu and others (2006) stated that high inlet temperature may break the balance between the rate of water evaporation and film-formation; therefore, structure of microcapsules is broken down, causing low EE.

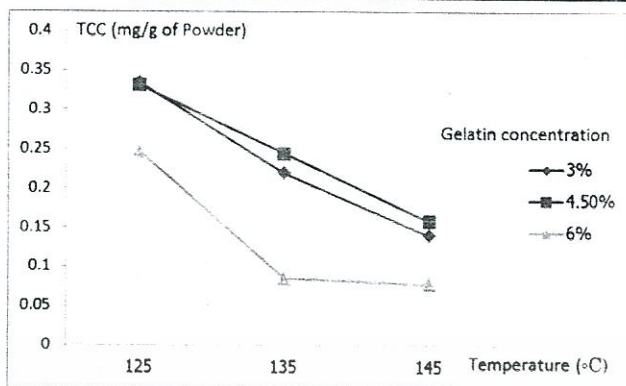


Fig. 1 Total carotenoid content of spray-dried powders at different drying conditions.

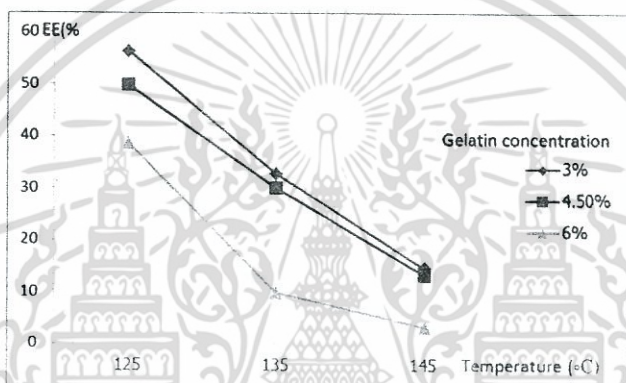


Fig. 2 Encapsulation efficiency of spray-dried powders at different drying conditions.

Effect of spray drying conditions on the total carotenoid content and encapsulation yield

The effects of gelatin concentrations and different inlet drying air temperatures on the encapsulation yield of gac aril powder are shown in Table 3. The average EY obtained in this study was 73.02±12.68 %. According to Chen and Tang (1998), 67% of yield for carrot pulp encapsulation using spray-dryer (Niro Atomizer Co., Denmark) The higher yield obtained in the present study could be caused by either lower outlet drying air temperature (60-70°C) or the differences of equipment design.

Table 3 Encapsulation yield of spray-dried gac aril powders.

Factors		Gelatin concentration (%)		
		3.0	4.5	6.0
Inlet drying air temperature (°C)	125 ND	90.57±2.63 ^a	91.37±0.50 ^a	78.81±3.41 ^a
	135 ND	64.31±2.24 ^b	79.58±1.11 ^b	66.30±2.69 ^b
	145 ND	57.80±0.27 ^b	69.70±2.42 ^b	58.81±2.08 ^b

Values are mean ± SD

The values in the same column followed by different superscripts (a,b) were significantly different (*p* < 0.05).

ND means no significant difference in the same row

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



202 In summary, the appropriate condition for microencapsulation of gac fruit aril was
 203 3.0% gelatin solution and inlet drying air temperature of 125 °C, at which the gac fruit aril
 204 powder showed the highest values of TCC, EE and EY.

205 References

- 206 Beatus Y, Raziel A, Rosenberg M, Kopelman IJ. 1985. Spraydrying microencapsulation of
 207 paprika oleoresin. *Lebensmittel Wissenschaft Technology*, 18, 28–34.
- 208 Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *Journal of*
 209 *Federation of American Societies for Experimental Biology*, 9(15), 1551–1558.
- 210 Bruschi ML, Cardoso MLC, Lucchesi MB, Gremião MPD. 2003. Gelatin microparticles
 211 containing propolis obtained by spray-drying technique: preparation and
 212 characterization. *International Journal of Pharmaceutics*, 264, 45–55.
- 213 Cao-Hoang L, Waché Y. 2009. Carotene dispersion in liquid media. In L. Haugen, & T.
 214 Bjornson (Eds.), *Beta-Carotene: Dietary Sources, Cancer, and Cognition* (pp. 283–298).
 215 New York: Novapublishers.
- 216 Chegini GR, Ghobadian B. 2005. Effect of spray-drying conditions on physical properties of
 217 orange juice powder. *Drying Technology*, 23 (3), 657–668.
- 218 Che Man YB, Irwandi J, Abdullah WJW. 1999. Effect of different types of maltodextrin and
 219 drying methods on physico-chemical and sensory properties of encapsulated durian
 220 flavor. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79 (8), 1075-1080.
- 221 Chen BH, Tang YC. 1998. Processing and stability of carotenoid powder from carrot pulp
 222 waste. *Journal of Agricultural Food Chemistry* 46, 2312-2318.
- 223 Chen BH, Chiu YT, Chiu CP, Chien JT, Ho GH, Yang J. 2005. Encapsulation of lycopene
 224 extract from tomato pulp waste with gelatin and poly(γ -glutamic acid) as carrier. *Journal*
 225 *of Agricultural Food Chemistry*, 55, 5123-5130.
- 226 Desobry S, Nett F, Labuza T. 1997. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-
 227 drying for β -carotene encapsulation and preservation. *International Journal of AVIAN*
 228 *Science*, 62, 1158–1162.
- 229 Ersus S, Yurdagel U, 2007. Microencapsulation of anthocyanin pigments of black carrot
 230 (*Daucus carota* L.) by spray drier. *Journal of Food Engineering*, 80 (3), 805–812.
- 231 Goula AM, Adamopoulos KG, Kazakis NA. 2004. Influence of spray drying conditions on
 232 tomato powder properties. *Drying Technology*, 22 (5), 1129–1151.
- 233 Iwamoto M, Okabe H, Yamauchi T, Tanaka M, Rokutani Y, Hara S. 1985. Studies on the
 234 constituents of *Momordica cochinchinensis* Spreng. I. Isolation and characterization of
 235 the seed saponins, momordica saponins I and II. *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*,
 236 33(2), 464–478.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



The 16th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2014
12 -13 June 2014

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

Stability of Carotenoids in Spray-dried Gac Aril Powder Encapsulated with β -cyclodextrins

¹Piyawan Youdee * and ¹Varipat Areekul

¹Faculty of Agro-industry, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

* Corresponding author: piyawanyoudee@gmail.com

Abstract

Gac fruit is considered as a fruit with high nutraceuticals, especially in gac aril. The intense-red aril contains high concentration of β -carotene and lycopene. In this study, the microencapsulated gac aril powder with β -cyclodextrins was prepared by spray-drying technique. The storage stability was evaluated in two various conditions (vacuum and N₂-flushing packaging) and stored at three different temperatures (25, 35 and 45°C) for 7 weeks. The sample was withdrawn every week for chemical analysis of total carotenoids content (TCC) and three different antioxidant assays; DPPH, β -carotene bleaching activity (BCB) and TBARs assay. The results indicated that the TCC value and all three antioxidant activities were found to decrease over the storage period in both 2 packing conditions. In addition, TCC in N₂-flushing packaging was slightly lower than that in vacuum packaging. All antioxidant activities tended to decrease as a result of rising storage temperature. In conclusion, the most stable condition for TCC retention and antioxidant activities was obtained in the treatment with vacuum-packed and stored at the lowest temperature.

Keywords: gac aril powder, carotenoids, stability, β -cyclodextrins,

Introduction

Gac fruits (*Momordica cochinchinensis* Spreng) are known and highly valued in southeast Asia as functional food and traditional medicine. Gac fruit aril is a very good source of antioxidants. Several scientific reports confirmed that gac fruit aril contains extremely high carotenoids especially, lycopene and β -carotene (Trans and others, 2008; Kha and others, 2010). Among carotenoids, both carotenoids have been considerable attention in recent years because of its possible role in prevention of chronic diseases such as prostate cancer (Rao and others, 1999). Epidemiological studies have also shown that the consumption of carotenoid-rich foods is related to a low risk of cancer (Giovannucci, 1999; Britton, 1995).

The structure of carotenoids makes these compounds susceptible to degradation from various environments. Microencapsulation by spray drying is a suitable technique to



The 16th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2014
12 -13 June 2014

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

37 enhance the storage stability of carotenoids. Indeed, β -cyclodextrin (β -CDs) is an
38 effective wall material because it provides protection on carotenoids (Basu and others,
39 2001). β -carotene can be completely easily degraded within 30 hours under oxygen
40 (Boon and others, 2010). Today, several preservation techniques are available to extend
41 the shelf storage of carotenoid-rich products. Packing without oxygen, such as vacuum
42 and N_2 -flushing packaging, is the most common method for extending the shelf-life
43 storage of carotenoid-rich products. On the other hand, storage temperature is another
44 important factor on storage stability. Therefore, the purpose of this study was to
45 investigate the effects of packaging and storage temperature on total carotenoid content
46 and antioxidant activities of spray-dried gac aril powder encapsulated with β -CDs.

47 **Materials and Methods**

48 **Sample preparation**

49 Mature fresh gac fruits were purchased from Kanchanaburi province. The intense
50 red aril was separated from gac fruit and then filtered. The preparation of sample was
51 similar to Zhu and others, (1998). Mixture of 3% β -CDs (Wagger W7, Germany) and
52 15% gac aril concentration was dissolved in hot distilled water and immediately
53 homogenized at 11,000 rpm for 15 minutes in a Wisetis® HG-15D homogenizer (Daihan
54 Scientific, Korea). Then, the sample was spray-dried with a Model Eyela SD-1000 Spray
55 Dryer (Tokyo Rikakikai Co., LTD, Japan) at the inlet drying air temperature of 135°C.
56 Finally, the gac aril powder was collected for further analysis.

57 **Storage stability**

58 The samples were packed in aluminum foil bags (3 mm thickness) with two
59 various packaging conditions; N_2 -flushing and vacuum conditions. The samples were
60 kept at three storage temperatures of 25, 35 and 45°C. Then, samples were withdrawn
61 every week for measurement of TCC and antioxidant properties.

62 **Analysis of gac aril powder**

63 **Total carotenoid content**

64 An extraction method described by Tran and others (2008) was employed to
65 extract the carotenoid content from the gac samples using a mixture of n-hexane: acetone
66 (v/v 3:2). Total carotenoid content of the gac fruit aril powders was
67 spectrophotometrically measured at 473 nm and expressed based on β -carotene
68 equivalents (mg/g powder).

69

70



The 16th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2014
12 -13 June 2014

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

71 **Free radical scavenging capacity by DPPH assay**

72 Approximately 10 mg of the sample was dissolved in 0.5 ml of water. Ten ml of
73 acetone were then added. DPPH assay was determined using Lee and others (2003)
74 method. The extract was added to 0.004% of DPPH in acetone. After 30 minutes the
75 absorbance of DPPH (A_{blank}) and the extract (A_{extract}) was measured at 517 nm. The
76 percent inhibition was calculated as:

77
$$\text{DPPH inhibition (\%)} = [1 - A_{\text{extract}} / A_{\text{blank}}] \times 100$$

78 **β -Carotene bleaching activity**

79 The ability to delay the bleaching of β -carotene in a water/linoleic acid emulsion
80 was performed according to Nsimba and others (2008). The β -carotene emulsion (5.0
81 ml) was transferred to a test tube containing 0.2 ml extract. The mixture was shaken and
82 evaporated to dryness in a water bath at 50°C for 2 hours. Its absorbance was measured at
83 470 nm. The percent inhibition was calculated as:

84
$$\text{BCB inhibition (\%)} = [1 - (A_0 - A_t) / (A_0^0 - A_t^0)] \times 100$$

85 Where the absorbance values were measured at initial time of the incubation for
86 sample (A_0) and control (A_0^0), respectively, and A_t and A_t^0 are the absorbance values of
87 sample and control at 2 hours.

88 **Thiobarbituric acid reactive species (TBARS) assay**

89 A thiobarbituric acid-reactive species (TBARS) assay (Ohkawa and others, 1979)
90 was used to measure the formation of lipid peroxide. 1.5 ml of 20% acetic acid (pH
91 adjusted to 3.5 with NaOH) and 1.5 ml of 0.8% (w/v) TBA in 1.1% sodium dodecyl
92 sulphate and 0.05 ml of 20% TCA were added. The mixture was vortexed and heated at
93 95°C for 60 min. The absorbance was measured at 532 nm. Inhibition of lipid
94 peroxidation (%) by the extract was calculated according to the formula:

95
$$\text{Inhibition of lipid peroxidation (\%)} = [1 - E/C \times 100]$$

96 Where C is the absorbance value of the fully oxidized control and E is (Abs_{532} with
97 TBA - Abs_{532} without TBA).

98 **Kinetic analysis**

99 Depending on the TCC and antioxidant activities, the % reduction and the storage
100 time were plotted in order to calculate k (constant rate of reaction) values of each storage
101 temperature. After that, the k values were used to compute Q_{10} (Temperature quotient)
102 value as following formula:

103
$$Q_{10} = k_{(T+10)} / k_T$$

104

105 **Statistical analysis**

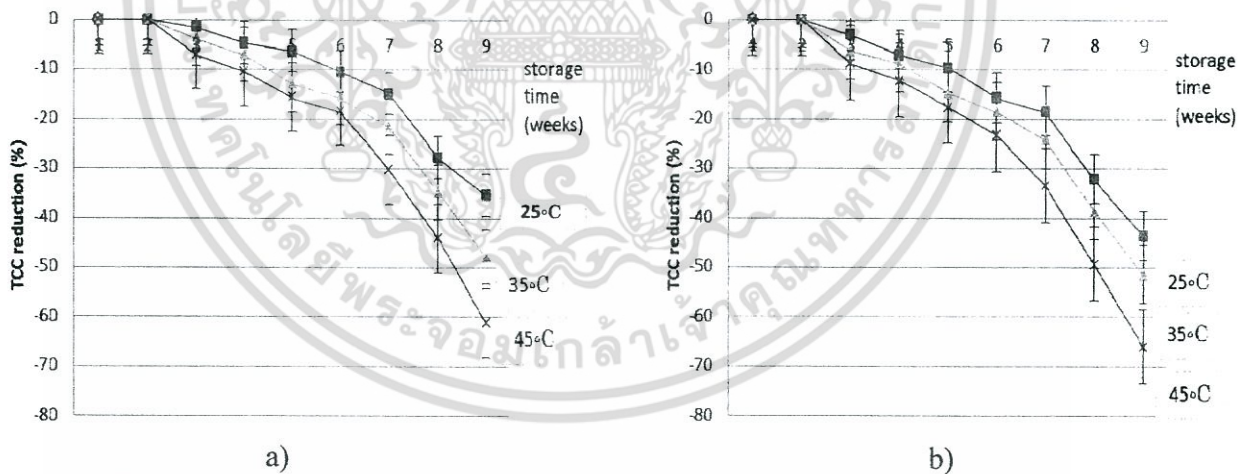
106 The experiments were carried out in duplicate and all results were presented as
107 mean values with standard deviations. Different mean values were analyzed by analysis
108 of variance (ANOVA) and Duncan's multiple range test.

109 **Results and Discussion**

110 **Total carotenoids content**

111 Figure 1 shows the degradation of carotenoids content in the gac aril powder
112 during storage. Temperature affected on carotenoids degradation following a first order
113 kinetics in all samples (R^2 ranged between 0.9164 - 0.9685). The k values ranged from
114 0.0235 to 0.0342 for vacuum packaging and 0.0269 to 0.0362 mg TCC/week for N_2 -
115 flushing packaging. The result indicated that TCC degradation in N_2 -flushing packaging
116 was higher than in vacuum packaging. The reduction of TCC at high storage temperature
117 might correspond to thermal degradation and oxidation of the surface carotenoids and
118 those in contact with a pore or a bubble in the matrix as was found by Desobry and others
119 (1999).

120



121

122

123 **Figure 1.** TCC reduction in gac aril powder during storage: vacuum (a) and N_2 -flushing (b)

124

125 **Antioxidant activities**

126 Antioxidant activities were affected by storage temperature and packaging. In
127 consistent with TCC, all antioxidant activities reduced with increasing storage
128 temperatures following the first order kinetics. The results demonstrated that carotenoids
129 were the major antioxidant components in gac aril powder. The k and Q_{10} values were
130 also calculated (Table 1). According to these values, the reduction rate of DPPH became
131 greater with higher storage temperatures compared to the other two antioxidant activities.



The 16th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2014
12 -13 June 2014

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

132 However, the same phenomena was found in BCB and TBARs. In contrast to packaging,
133 there was insignificantly affected the Q_{10} values but BCB was likely to be the most
134 sensitive method among three antioxidant activities.

135

136 **Table 1.** k and Q_{10} of all antioxidant activities during storage.

Packaging	Storage temperature (°C)	DPPH		BCB		TBARs	
		k	Q_{10}	k	Q_{10}	k	Q_{10}
Vacuum	25	0.0043	1.00	0.0049	1.00	0.0044	1.00
	35	0.0053	1.23	0.0072	1.47	0.0061	1.04
	45	0.0064	1.21	0.0085	1.18	0.0066	1.43
N ₂ -flushing	25	0.0051	1.00	0.0057	1.00	0.0046	1.00
	35	0.0057	1.17	0.0084	1.47	0.0062	1.34
	45	0.0073	1.28	0.0096	1.14	0.0077	1.24

137

138 In summary, the maximal stability was observed at 25°C in vacuum-packed
139 condition with the lowest TCC degradation and the lowest reduction rate in all
140 antioxidant activities.

141 **References**

142 Basu HN, Del Vecchio A. 2001. Encapsulated carotenoid preparations from high-
143 carotenoid canola oil and cyclodextrins and their stability. *Journal of American Oil*
144 *Chemist Society*, 78, 375–380.

145 Boon CS, McClements DJ, Weiss J, Decker EA. 2010. Factors influencing the chemical
146 stability of carotenoids in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50,
147 515–532.

148 Britton G. 1995. UV/visible spectroscopy. In- *Carotenoids: Spectroscopy*, Vol 1B, ed. G.
149 Britton; S. Liaaen-Jensen and H. Pfander. Birkhäuser, Basel. 13-62.

150 Desobry S, Netto F, Labuza TP. 1999. Influence of maltodextrin systems at an equivalent
151 25DE on encapsulated β -carotene loss during storage. *Journal of Food Processing*
152 *Preservation*, 23, 39-55.

153 Giovannucci E. 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene and cancer: Review of
154 the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*, 91, 317–331.

155 Kha TC, Nguyen MH, Roach PD. 2010. Effects of spray drying conditions on the
156 physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*)
157 fruit aril powder. *J. of Food Engineering*, 98, 385-392.



The 16th FOOD INNOVATION ASIA CONFERENCE 2014
12 -13 June 2014

BITEC Bangna, Bangkok, Thailand

- 158 Hussein A, Odumeru JA, Ayanbadejo T, Faulkner H, McNab WB, Hager H,
159 Szijarto L. 2000. Effects of processing and packaging on vitamin C and b-
160 carotene content of ready-to-use (RTU) vegetables. *Journal of Food Research*
161 *International*, 33, 131-136.
- 162 Lee JH, Ozcelik B, Min DB. 2003. Electron Donation Mechanisms of β -Carotene as a
163 Free Radical Scavenger. *Journal of Food Science*, 68, 861-865.
- 164 Nsimba RY, Kikuzaki H, Konishi Y. 2008. Antioxidant activity of various extracts and
165 fractions of *Chenopodium quinoa* and *Amaranthus* spp. seeds”, *Journal of Food*
166 *Chemistry*, 106, 760-766.
- 167 Ohkowa H, Ohisi N, Yagi K. 1979. Assay for lipid peroxides in animal tissues by
168 thiobarbituric acid reaction. *Analytical Biochemistry*, 95, 351-358.
- 169 Rao AV, Agarwal S. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention
170 of chronic diseases. *Nutrition Research*, 19, 305-323.
- 171 Robert P, Carlsson RM, Romero N, Masson L. 2003. Stability of spray-dried
172 encapsulated carotenoid pigments from *Rosa mosqueta* (*Rosa rubiginosa*) oleoresin.
173 *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 80, 1115-1120.
- 174 Tran TH, Nguyen MH, Zabaraz D, Vu LTT. 2008. Process development of Gac powder
175 by using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*,
176 85(3), 359-365.
- 177 Zhu X, Xu SY, Wang Z. 1998. Gelatin as microencapsulating agents for β -carotene. *Food*
178 *and Fermentation Industries*, 24, 11-15.



- 237 Jimenez M, Garcia HS, Beristain CI. 2004. Spray-drying microencapsulation and oxidative
238 stability of conjugated linoleic acid. *European Food Research and Technology*, 219,
239 588–592.
- 240 Quek SY, Chok NK, Swedlund P. 2007. The physicochemical properties of spraydried
241 watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification* 46,
242 (5), 386–392.
- 243 Re MI. 1998. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technology*, 16, 1195–1236.
- 244 Rodriguez-Huezo ME, Pedroza-Islas R, Prado-Barragan LA, Beristain CI, & Vernon-Carter
245 EJ. 2004. Microencapsulation by spray drying of multiple emulsions containing
246 carotenoids. *Journal of Food Science*, 69, E351–E359.
- 247 Rodríguez-Hernández GR, González-García R, Grajales-Lagunes A, Ruiz-Cabrera MA.
248 Abud-Archila, M. 2005. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): effect
249 on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. *Drying*
250 *Technology*, 23 (4), 955–973.
- 251 Schierle J, Bretzel W, Bu'ehler I, Faccin N, Hess D, Steiner K. 1997. Content and isomeric
252 ratio of lycopene in food and human blood plasma. *Food Chemistry*, 59, 459–465.
- 253 Shu B, Yu W, Zhao Y, Liu X. 2006. Study on microencapsulation of lycopene by spray
254 drying. *Journal of Food Engineering*, 76 (4), 664–669.
- 255 Tran TH, Nguyen MH, Zabarar D, Vu LTT. 2008. Process development of Gac powder by
256 using different enzymes and drying techniques. *Journal of Food Engineering*, 85(3),
257 359–365.
- 258 Wagner L, Warthesen J. 1995. Stability of Spray-Dried Encapsulated Carrot Carotenes,
259 *Journal of Food Science*, 60, 1048–1053.
- 260 Young AJ, Lowe GM. 2001. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. *Archives*
261 *of Biochemistry and Biophysics*, 385(1), 20–27.
- 262 Zhu X, Xu SY, Wang, Z. 1998. Gelatin as microencapsulating agents for B-carotene. *Food*
263 *and Fermentation Industries*, 24, 11–15.
- 264

ภาคผนวก ง

งบประมาณของโครงการวิจัย

รายละเอียดงบประมาณการวิจัย จำแนกตามงบประมาณต่าง ๆ (ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556)

รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1. งบบุคลากร	
(1) ค่าจ้างชั่วคราว	<u>100,800</u>
2. งบดำเนินงาน	
(1) ค่าใช้สอย	<u>30,000</u>
(2) ค่าวัสดุ	<u>149,200</u>
3. งบลงทุน	
(1) ค่าครุภัณฑ์	<u>200,000</u>
เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์	200,000
รวมงบประมาณที่เสนอขอ	480,000

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

1 ปี 6 เดือน ตั้งแต่เดือน ตุลาคม 2555 – มีนาคม 2557

กิจกรรม	ปีงบประมาณ 2556 (เดือน)					
	1-3	4-6	7-9	10-12	13-15	16-18
1. สืบค้นข้อมูลที่จำเป็นเพิ่มเติม และเตรียมพร้อมเรื่องอุปกรณ์และสารเคมีที่ต้องใช้						
2. การเตรียมตัวอย่างพืช						
3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของสารที่ใช้ห่อหุ้มในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน						
4. ศึกษาผลของความเข้มข้นของเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวในการผลิตผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวด้วยวิธีเอนแคปซูเลชัน						
5. ศึกษาความคงตัวของสารสำคัญในผงเยื่อหุ้มเมล็ดพืชข้าวที่ผ่านการเอนแคปซูเลชันในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ						
6. สรุปผลการทดลอง และจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์						

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

หัวหน้าโครงการ

ชื่อ-สกุล นางสาววิพัชย์ อารีกุล

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วท.บ.	จุลชีววิทยา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วท.ม.	เทคโนโลยีชีวภาพ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
M.Sc.	Food Science	The University of Georgia, USA
Ph.D.	Food Science	The University of Georgia, USA

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- ผลของกระบวนการแปรรูปต่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของผลิตภัณฑ์
- จลนศาสตร์การฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในอาหารและการตรวจสอบความถูกต้องของกระบวนการผลิต
- การหาค่าความไม่แน่นอนในการวิเคราะห์คุณค่าทางอาหาร
- การใช้ประโยชน์ของพืชพื้นบ้านและพืชป่า

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Varipat Areekul and Naraporn Phomkaivon 2011. Comparison on the Total Phenolic Content and Antioxidant Capacity of Various Solvent Extracts of Fresh and Dried Thai Indigenous Plants. The 12th Asean Food Conference 2011. BITEC Conventional Center, Bangkok 16-18 June 2011.

Areerat Imsil, Ronnarit Rittiron, Panmanas Sirisomboon and Varipat Areekul 2011. Classification of Hom-mali Rice with Difference Degree of Milling Based on Physicochemical Measurements by Principle Component Analysis. Kasetsart Journal Natural Science. 45: 863-873.

Areerat Imsil, Ronnarit Rittiron, Panmanas Sirisomboon and Varipat Areekul 2012. Classification of Hom-mali rice in different degree of milling by FT-NIR spectroscopy. The 3rd Asian Near-Infrared Symposium. 14-18 May 2012. pp.138-139.

Areerat Imsil Ronnarit Rittiron Panmanas Sirisomboon and Varipat Areekul 2012. Prediction of the Physicochemical properties of rice with different degree of milling using FT-NIR spectroscopy. The 3rd Asian Near-Infrared Symposium. 14-18 May 2012. pp.138-139.

Varipat Areekul and Lamphung Phumjan. 2012. TLC characterization of thirty Thai wild plants. The 4th International Conference on natural products for health beauty. 28-30 Nov. 2012. pp. 551.27-551.29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pornhathai Putthawan and Varipat Areekul 2012. Screening for antioxidant activity in edible Thai local plants. The 4th International Conference on natural products for health beauty. 28 -30 Nov. 2012. pp 551-40 - 551.46

วิไลวรรณ หงอกพิสัย ทิพย์วรรณ ปริญญาศิริ อพัชชา จินดาประเสริฐ วรวิทย์ อารีกุล และ อติศร เสวตวิวัฒน์การศึกษา
คุณภาพและความปลอดภัยของขมจีน. 2555. วิทยาศาสตร์. 28(1): 121-134.

รัชดา พวงจันทร์แดง ประมวล ศรีกาหลง และวรวิทย์ อารีกุล. 2555. การประเมินประสิทธิภาพเครื่องต้นแบบในการผสม
เกลือเสริมไอโอดีนชนิดริบบอนแบบหัวฉีดสเปรย์. เกษตรพระจอมเกล้า30(3): 59-67.

เปรมยุดา ขุนทอง และ วรวิทย์ อารีกุล 2556. ศักยภาพในการกันหืนของสารสกัดจากพืชท้องถิ่นที่บริโภคได้ในน้ำมันเมล็ด
ทานตะวัน. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ครั้งที่ 51. 5-7 ก.พ. 2556. หน้า
186-192.

Premyuda Khuntong and Varipat Areekul. 2013. Anti-rancidity potential of local edible plant extract in
coconut oil. The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. BITEC Conventional Center,
Bangkok 13-14 June 2013. (CD format)

Piyawan Yuudee and Varipat Areekul. 2013. Microencapsulation of Gac Aril Using Gelatin as Carrier.
The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. BITEC Conventional Center, Bangkok 13-14 June
2013. (CD format)

Pornhathai Putthawan and Varipat Areekul. 2013. Potential of Thai local plants on stability of oil in
water (O/W) emulsions system. The 15th Food Innovation Asia Conference 2013. BITEC
Conventional Center, Bangkok 13-14 June 2013. (CD format)

สาธินี เสน่ห์นุช และ วรวิทย์ อารีกุล 2556. การประเมินจีเอ็มพีด้วยตนเองของผู้ประกอบการเครื่องดื่มประเภทน้ำผัก
ผลไม้พาสเจอร์ไรส์. การประชุมวิชาการอุตสาหกรรมเกษตร สจล. ครั้งที่ 2, 30 สิงหาคม 2556

นิธิวิจน์ กสิพร้อม ประมวล ศรีกาหลง และวรวิทย์ อารีกุล. 2556. ปัจจัยในการผสมที่มีผลต่อการกระจายตัวของไอโอดีน
ในเกลือเม็ด. เกษตรพระจอมเกล้า 3. Xxx-xxx. (อยู่ในระหว่างการตีพิมพ์)

ศดานันท์ นรินทร์สุขสันติ และ วรวิทย์ อารีกุล 2557. องค์ประกอบสารระเหยให้กลิ่นของชาสมุนไพรเจียวกู่หลานที่สกัด
ด้วยตัวทำละลายและกลั่นด้วยไอน้ำ. เอกสารประกอบการประชุมทางวิชาการมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ครั้งที่ 52.
4-7 ก.พ. 2557. หน้า 186-193.

Piyawan Yuudee and Varipat Areekul 2014. Microencapsulation of Gac Aril using β cyclodextrin as
Wall Material. 1st Joint ACS AGFD- ACS ICSCS Symposium on Agricultural and Food Chemistry.
March 4-5, 2014.

Varipat Areekul and Shin Yasuda. 2014. Inhibition of Proliferation by Edible Local Plant Extracts on the
HL-60 Human Leukemic Cell Line. 1st Joint ACS AGFD- ACS ICSCS Symposium on Agricultural and
Food Chemistry. March 4-5, 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล นางสาวปิยวรรณ อยู่ดี

ตำแหน่งปัจจุบัน นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ
วท.บ.	ชีววิทยา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วท.ม.	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี การอาหาร	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

- การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร
- เทคโนโลยีนมและผลิตภัณฑ์
- เทคโนโลยีน้ำตาลและผลิตภัณฑ์
- การบริหารโรงงานอุตสาหกรรมอาหาร

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

Piyawan Youdee & Varipat Areekul. 2014. Microencapsulation of Gac Aril Using β -cyclodextrin as Wall Material. In proceedings 1st Joint ACS AGFD-ACS ICSCT Symposium Thailand, Monthien Riverside, Bangkok March 4-5, 2014.

Piyawan Youdee & Varipat Areekul. 2013. Microencapsulation of Gac Aril Using Gelatin as Carrier. In Proceeding of Food Innovation Asia 2013. The 15th Agro-industrial Conference. Bitec Conventional Center, Bangkok 13-14 June 2013.

การเสนอผลงานวิชาการ

Oral Presentation:

2013 Microencapsulation of Gac Aril Using Gelatin as Carrier. Food Innovation Asia 2013. The 15th Agro-industrial Conference. Bitec Conventional Center, Bangkok 13-14 June 2013.

2014 Microencapsulation of Gac Aril Using β -cyclodextrin as Wall Material. 1st Joint ACS AGFD- ACS ICSCT Symposium Thailand, Monthien Riverside, Bangkok March 4-5, 2014.

Poster Presentation:

2014 Stability of Carotenoids in Spray-dried Gac Aril Powder Encapsulated with β -cyclodextrins Food Innovation Asia 2014. The 16th Agro-industrial Conference. Bitec Conventional Center, Bangkok 12-13 June 2014.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้